

BEST AVAILABLE COPY

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-023107

(43)Date of publication of application : 23.01.2002

(51)Int.Cl.

G02B 27/28  
 G02B 5/20  
 G02B 5/32  
 G02B 27/02  
 G02F 1/13  
 G02F 1/1335  
 G03B 21/00  
 G03B 33/12  
 G09F 9/00  
 H04N 5/74

(21)Application number : 2000-204328

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 05.07.2000

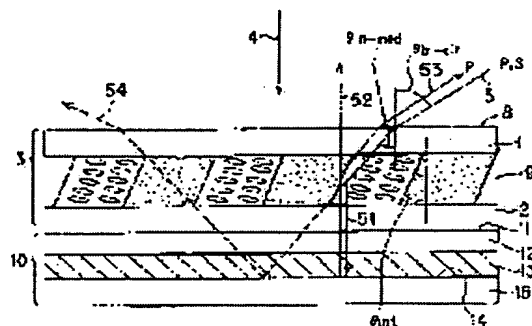
(72)Inventor : TAKEGAWA HIROSHI

## (54) PICTURE DISPLAY ELEMENT AND PICTURE DISPLAY DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the light use efficiency of illumination light, to miniaturize a device, to reduce cost, to uniform display pictures and to realize high contrast.

SOLUTION: A polarization selective hologram optical element 3 which has structure where two areas different in the incident polarization orientation dependency of refractive indexes are successively laminated and illumination light is refracted and a reflection-type space optical modulation element 10 modulating the polarized state of illumination light refracted by the polarization selective hologram optical element 3 are arranged. Then, a light source, the illumination optical system and a projection optical system are also installed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

## BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-23107

(P2002-23107A)

(43) 公開日 平成14年1月23日 (2002.1.23)

(51) Int. Cl.	識別記号	F I	チーコード (参考)
G 0 2 B 27/28		G 0 2 B 27/28	Z 2 H 0 4 8
5/20	1 0 1	5/20	1 0 1 2 H 0 4 9
5/32		5/32	2 H 0 8 8
27/02		27/02	Z 2 H 0 9 1
G 0 2 F 1/13	5 0 5	G 0 2 F 1/13	5 0 5 2 H 0 9 9

審査請求 未請求 請求項の数97 O L (全 60 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-204328(P2000-204328)

(22) 出願日 平成12年7月5日 (2000.7.5)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 森川 洋

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(74) 代理人 100087736

弁理士 小池 晃 (外2名)

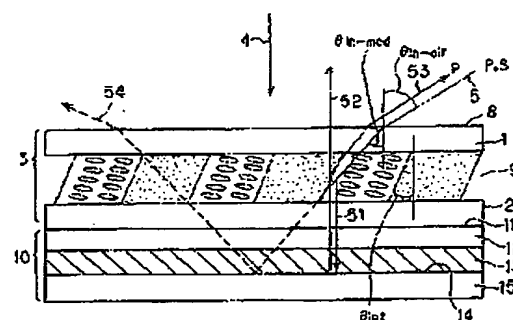
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像表示素子及び画像表示装置

(57) 【要約】

【課題】 照明光の光利用効率を高くし、装置の小型化、低コスト化を可能とし、また、表示画像の均一性、高コントラスト性を実現する。

【解決手段】 屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有し照明光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子3と、偏光選択性ホログラム光学素子3により回折された照明光の偏光状態を調整する反射型空間光変調素子10とを備える。さらに、光源、照明光学系及び投射光学系を備える。



(2)

特開2002-23107

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有し、照明光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、

上記偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の偏光状態を変調する反射型空間光変調素子とを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光が入射され、該照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて上記反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が $10\%$ 以下であることにより、この偏光成分を $70\%$ 以上透過させることを特徴とする画像表示素子。

【請求項2】 偏光選択性ホログラム光学素子の2つの領域の一方は、屈折率異方性を有し、他方は屈折率等方性を有することを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項3】 回折効率が $1\%$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項4】 偏光選択性ホログラム光学素子は、P偏光光である照明光を入射されることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項5】 偏光選択性ホログラム光学素子は、ホログラム面に対する光線の入射角と回折射出角の差であるベンド角が、 $30^\circ$ 以上となっていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項6】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折させた出射光を、入射面内において、照明光受光面の法線に対してベンド角が大きくなる方向に射出することを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項7】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項8】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項9】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項10】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

2

【請求項11】 偏光選択性ホログラム光学素子は、液晶材料を有して構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項12】 偏光選択性ホログラム光学素子と反射型空間光変調素子とは、光学的に密着されて一体的に構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項13】 反射型空間光変調素子は、複数の色画素を有し、

10 偏光選択性ホログラム光学素子は、入射照明光を各波長帯域ごとに分光し反射型空間光変調素子のそれぞれ対応する色画素に集光するレンズ作用を有することを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項14】 照明光を放射する光源と、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有し入射光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、

上記光源より放射された照明光を上記偏光選択性ホログラム光学素子に入射させる照明光学系と、

20 上記偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の偏光状態を変調する反射型空間光変調素子と、上記反射型空間光変調素子及び上記偏光選択性ホログラム光学素子を経た照明光をスクリーン上に投射する投射光学系とを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、上記照明光学系により、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光が入射され、該照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて上記反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、

30 1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が $10\%$ 以下であることにより、この偏光成分を $70\%$ 以上透過させ、

上記投射光学系は、上記偏光選択性ホログラム光学素子の透過光をスクリーン上に投射することを特徴とする画像表示装置。

【請求項15】 偏光選択性ホログラム光学素子の2つの領域の一方は、屈折率異方性を有し、他方は屈折率等方性を有することを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項16】 回折効率が $1\%$ 以下であることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項17】 光源の発光部は、長方形形状をしており、短辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

50 【請求項18】 照明光学系は、照明光のうち、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率が最大となる偏光方位と直交する偏光方位を有する成分について、偏光方位

(3)

特開2002-23107

3

4

を90°回転させる偏光変換手段を備えていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項19】 照明光学系は、照明光のうち、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率が最大となる偏光方位を有する成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項20】 光源、または、照明光学系は、照明光の全波長帯域のなかの複数の特定波長帯域のみを時間的に順次透過させる時間順次波長帯域切り替え手段を備えていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項21】 照明光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子と反射符号のベンド角を有する補正用偏光選択性ホログラム光学素子を備えていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項22】 補正用偏光選択性ホログラム光学素子は、偏光選択性ホログラム光学素子と同一素子であることを特徴とする請求項21記載の画像表示装置。

【請求項23】 偏光選択性ホログラム光学素子に光学的に密着し、少なくとも照明光が略垂直に入射する第1の光学面と該反射型空間光変調素子による反射光が略垂直に射出する第2の光学面とを有するカップリングプリズムを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光を、照明光受光面の法線に対して60°以上90°未満の入射角で入射されることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項24】 カップリングプリズムは、反射型空間光変調素子による照明光の正反射光が略垂直に入射する光吸収層が設けられた第3の光学面を有していることを特徴とする請求項23記載の画像表示装置。

【請求項25】 投射光学系は、反射型空間光変調素子による変調光のうちの偏光選択性ホログラム光学素子において透過する偏光方位の成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項26】 偏光選択性ホログラム光学素子は、P偏光光である照明光を入射されることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項27】 偏光選択性ホログラム光学素子のベンド角が30°以上となっていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項28】 偏光選択性ホログラム光学素子のホログラム面と反射型空間光変調素子の反射面とは、光学的に平行ではない位置関係となっていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項29】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項14記載

の画像表示装置。

【請求項30】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項31】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項32】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項33】 偏光選択性ホログラム光学素子は、液晶材料を有することを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項34】 偏光選択性ホログラム光学素子と反射型空間光変調素子とは、光学的に密着されて一体的に構成されていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項35】 反射型空間光変調素子は、長方形形状をしており、長辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項36】 反射型空間光変調素子は、複数の色画素を有し、

偏光選択性ホログラム光学素子は、入射照明光を各波長帯域ごとに分光し反射型空間光変調素子のそれぞれ対応する色画素に集光するレンズ作用を有することを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項37】 照明光を放射する光源と、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次隔隔した構造を有し入射光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、

上記照明光を互いに異なる複数の波長帯域成分に分離する色分離手段と、

互いに異なる複数の波長帯域成分に分離された照明光を上記偏光選択性ホログラム光学素子に入射させる照明光学系と、

上記偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光のうちの互いに異なる複数の波長帯域成分の偏光状態をそれぞれ変調する複数の反射型空間光変調素子と、上記複数の反射型空間光変調素子によりそれぞれ変調された互いに異なる波長帯域の照明光を合成する色合成手段と、

上記色合成手段を経た照明光をスクリーン上に投射する投射光学系とを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、上記照明光学系により、照明光受光面の法線に対して30°以上90°未満の入射角で照明光が入射され、該照明光のP偏光成

(4)

特開2002-23107

5

分もしくはS偏光成分を回折させて上記反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させ、

上記投射光学系は、上記偏光選択性ホログラム光学素子を透過して上記色合成手段を経た照明光をスクリーン上に投射することを特徴とする画像表示装置。

【請求項38】 偏光選択性ホログラム光学素子の2つの領域の一方は、屈折率異方性を有し、他方は屈折率等方性を有することを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項39】 回折効率が1%以下であることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項40】 光源の発光部は、長方形形状をしており、短辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項41】 色分離手段と色合成手段とは、1つのクロスダイクロイックプリズムを共用することを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項42】 照明光学系は、照明光のうち、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率が最大となる偏光方位と直交する偏光方位を有する成分について、偏光方位を90°回転させる偏光変換手段を備えていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項43】 照明光学系は、照明光のうち、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率が最大となる偏光方位を有する成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項44】 光源、または、照明光学系は、照明光の全波長帯域のなかの複数の特定波長帯域のみを時間的に順次透過させる時間順次波長帯域切り替え手段を備えていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項45】 照明光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子と反対符号のベンド角を有する補正用偏光選択性ホログラム光学素子を備えていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項46】 補正用偏光選択性ホログラム光学素子は、偏光選択性ホログラム光学素子と同一素子であることを特徴とする請求項45記載の画像表示装置。

【請求項47】 偏光選択性ホログラム光学素子に光学的に密着し、少なくとも照明光が略垂直に入射する第1の光学面と該反射型空間光変調素子による反射光が略垂直に射出する第2の光学面とを有するカップリングプリズムを備え、

5

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光を、照明光受光面の法線に対して60°以上90°未満の入射角で入射されることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項48】 カップリングプリズムは、反射型空間光変調素子による照明光の正反射光が略垂直に入射する光吸収層が設けられた第3の光学面を有していることを特徴とする請求項47記載の画像表示装置。

【請求項49】 投射光学系は、反射型空間光変調素子による変調光のうちの偏光選択性ホログラム光学素子において透過する偏光方位の成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項50】 偏光選択性ホログラム光学素子は、P偏光光である照明光を入射されることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項51】 偏光選択性ホログラム光学素子のベンド角が30°以上となっていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項52】 偏光選択性ホログラム光学素子のホログラム面と反射型空間光変調素子の反射面とは、光学的に平行ではない位置関係となっていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項53】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項54】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項55】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項56】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項57】 偏光選択性ホログラム光学素子は、液晶材料を有することを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項58】 反射型空間光変調素子は、長方形形状をしており、長辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項59】 照明光を放射する光源と、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有し入射光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、

50

(5)

特開2002-23107

7

8

上記照明光の互いに異なる第1及び第2の波長帯域成分の偏光状態を互いに直交する直線偏光成分として分離させる波長帯域別偏光分離手段と、

第1及び第2の波長帯域成分に分離された照明光を上記偏光選択性ホログラム光学素子に入射させる照明光学系と、

偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の第1の波長帯域成分の偏光状態を調整する第1の反射型空間光変調素子と、

偏光選択性ホログラム光学素子を透過した照明光の第2の波長帯域成分の偏光状態を調整する第2の反射型空間光変調素子と、

上記各反射型空間光変調素子を経た照明光をスクリーン上に投射する投射光学系とを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、上記照明光学系により、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光が入射され、P偏光成分もしくはS偏光成分である上記第1の波長帯域成分を回折させて上記第1の反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、該第1の反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち該第1の波長帯域成分の1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分の70%以上を透過させ、上記第2の波長帯域成分を70%以上透過させて上記第2の反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、該第2の反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち該第2の波長帯域成分の1回目の入射において透過する偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分を回折させ、

上記投射光学系は、第1の反射型空間光変調素子及び上記偏光選択性ホログラム光学素子を経た第1の波長帯域成分の照明光と、第2の反射型空間光変調素子及び上記偏光選択性ホログラム光学素子を経た第2の波長帯域成分の照明光とを、スクリーン上に投射することを特徴とする画像表示装置。

【請求項60】 偏光選択性ホログラム光学素子の2つの領域の一方は、屈折率異方性を有し、他方は屈折率等方性を有することを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項61】 回折効率が1%以下であることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項62】 光源の発光部は、長方形形状をしており、短辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項63】 照明光学系は、照明光のうちの互いに直交する偏光成分のいずれか一方について、偏光方位を $90^\circ$ 回転させる偏光変換手段を備えていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項64】 光源、または、照明光学系は、照明光の全波長帯域のなかの複数の特定波長帯域のみを時間的に順次透過させる時間順次波長帯域切り替え手段を備えていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項65】 照明光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子と反対符号のベンド角を有する補正用偏光選択性ホログラム光学素子を備えていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項66】 補正用偏光選択性ホログラム光学素子は、偏光選択性ホログラム光学素子と同一素子であることを特徴とする請求項65記載の画像表示装置。

【請求項67】 偏光選択性ホログラム光学素子に光学的に密着し、少なくとも照明光が略垂直に入射する第1の光学面と該反射型空間光変調素子による反射光が略垂直に射出する第2の光学面とを有するカップリングプリズムを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光を、照明光受光面の法線に対して $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で入射されることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項68】 カップリングプリズムは、反射型空間光変調素子による照明光の正反射光が略垂直に入射する光吸収層が設けられた第3の光学面を有していることを特徴とする請求項67記載の画像表示装置。

【請求項69】 投射光学系は、反射型空間光変調素子による変調光のうちの偏光選択性ホログラム光学素子において透過する偏光方位の成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項70】 偏光選択性ホログラム光学素子は、ホログラム面に対する光線の入射角と回折射出角の差であるベンド角が、 $30^\circ$ 以上となっていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項71】 偏光選択性ホログラム光学素子のホログラム面と反射型空間光変調素子の反射面とは、光学的に平行ではない位置関係となっていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項72】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項73】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項74】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

(6)

特開2002-23107

9

10

【請求項75】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項59記載の画像表示装置。

【請求項76】 偏光選択性ホログラム光学素子は、液晶材料を有して構成されていることを特徴とする請求項59記載の画像表示装置。

【請求項77】 反射型空間光変調素子は、長方形形状をしており、長辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項59記載の画像表示装置。

【請求項78】 照明光を放射する光源と、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次編入した構造を有し入射光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、

上記照明光を上記偏光選択性ホログラム光学素子に入射させる照明光学系と、

上記偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の偏光状態を変調する反射型空間光変調素子と、

上記反射型空間光変調素子を経た照明光を観察者の瞳に導く虚像観察光学系とを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、上記照明光学系により、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光が入射され、該照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて上記反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させ、

上記虚像観察光学系は、上記偏光選択性ホログラム光学素子の透過光を観察者の瞳に導くことを特徴とする画像表示装置。

【請求項79】 偏光選択性ホログラム光学素子の2つの領域の一方は、屈折率異方性を有し、他方は屈折率等方性を有することを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項80】 回折効率が1%以下であることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項81】 光源の発光部は、長方形形状をしており、短辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項82】 照明光学系は、照明光のうち、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率が最大となる偏光方位の成分について、偏光方位を $90^\circ$ 回転させる偏光変換手段を備えていることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項83】 光源、または、照明光学系は、照明光

の全波長帯域のなかの複数の特定波長帯域のみを時間的に順次透過させる時間順次波長帯域切り替え手段を備えていることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項84】 照明光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子と反対符号のベンド角を有する補正用偏光選択性ホログラム光学素子を備えていることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項85】 補正用偏光選択性ホログラム光学素子は、偏光選択性ホログラム光学素子と同一素子であることを特徴とする請求項84記載の画像表示装置。

【請求項86】 偏光選択性ホログラム光学素子に光学的に密着し、少なくとも照明光が略垂直に入射する第1の光学面と該反射型空間光変調素子による反射光が略垂直に射出する第2の光学面とを有するカップリングプリズムを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光を、照明光受光面の法線に対して $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で入射されることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項87】 カップリングプリズムは、反射型空間光変調素子による照明光の正反射光が略垂直に入射する光吸収層が設けられた第3の光学面を有していることを特徴とする請求項86記載の画像表示装置。

【請求項88】 虚像観察光学系は、反射型空間光変調素子による変調光のうちの偏光選択性ホログラム光学素子において透過する偏光方位の成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項89】 偏光選択性ホログラム光学素子は、P偏光光である照明光を入射されることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項90】 偏光選択性ホログラム光学素子は、ホログラム面に対する光線の入射角と回折射出角の差であるベンド角が、 $30^\circ$ 以上となっていることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項91】 偏光選択性ホログラム光学素子のホログラム面と反射型空間光変調素子の反射面とは、光学的に平行ではない位置関係となっていることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項92】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項93】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項94】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラムが

(7)

特開2002-23107

11

12

1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項95】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項96】 偏光選択性ホログラム光学素子は、液晶材料を有して構成されていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項97】 反射型空間光変調素子は、長方形形状をしており、長辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、反射型空間光変調素子を用いた画像表示素子及び画像表示装置に関し、特に、装置の軽量化、製造の低コスト化、表示画像の高コントラスト化を図ることに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、以下に述べるように、種々の画像表示素子及びこれら画像表示素子を用いて構成された画像表示装置が提案されている。

【0003】〔1〕空間光変調素子

空間光変調素子(Spatial Light Modulator: SLM)は、映像信号が入力され、その信号に応じた画像データに基づいて、各画素毎に入射光を変調するように構成されたデバイスである。空間光変調素子を透過する光を変調する透過型と、空間光変調素子において反射される光を変調する反射型とがある。

【0004】反射型空間光変調素子は、液晶、デジタルマイクロミラー等を使用して構成されている。特に、液晶を使用して構成したものは、液晶型空間光変調素子と称される。

【0005】液晶には、旋光(偏光導波)モード型、複屈折モード型、光散乱モード型、光吸収モード型等がある。一般的に使用される液晶としては、旋光(偏光導波)モード型のツイステッドネマティック(TN)動作モードを使用するTN液晶、複屈折動作モード型のスーパーツイステッドネマティック(STN)動作モードを使用するSTN液晶、及び、強誘電性液晶(FLC)動作モードを使用するFLC型の液晶等がある。

【0006】これら偏光状態を変調する反射型空間光変調素子には、強誘電性液晶空間光変調素子の他、TN液晶を用いた垂直配向液晶空間光変調素子、反強誘電性液晶空間光変調素子、TN液晶を用いた複屈折モードの空間光変調素子などがある。

【0007】〔2〕反射型FLC空間光変調子

偏光状態を変調する反射型空間光変調素子のうち、反射型FLC空間光変調子について構造と動作原理を説明す

る。

【0008】反射型FLC空間光変調素子は、図23に示すように、一対の電極部とその間に挿入された液晶材料105とを有して構成されている。図中上側の電極部は、ガラス基板101Aと、その内側(下側)の透明電極102Aと、その内側(下側)の配向膜103Aとを有している。図中下側の電極部は、シリコン基板101Bと、その内側(上側)のアルミ電極102Bと、その内側(上側)の配向膜103Bとを有している。アルミ電極102Bは、反射膜としても機能する。上側の電極部のガラス基板101Aの外側(上側)には、偏光子104が配置されている。

【0009】図23中の(A)は、透明電極102A及びアルミ電極102Bに第1の方向の電圧が印加された第1の電圧方向状態を示し、図23中の(B)は、透明電極102A及びアルミ電極102Bに第1の方向とは反対方向の第2の方向の電圧が印加された第2の電圧方向状態を示している。

【0010】また、液晶材料105は、図23中の(C)に示すように、第1の電圧方向状態では、入射偏光に対して複屈折効果を示さないが、第2の電圧方向状態では、入射偏光に対して複屈折効果を示す。

【0011】偏光子104を介して入射した偏光107Aは、図23中の(A)に示す第1の電圧方向状態では、液晶材料105が複屈折効果を示さないことから、この液晶材料105を透過し、偏波状態を変えることなく、アルミ電極(反射膜)102Bに到達する。そして、アルミ電極(反射膜)102Bにおいて反射された偏光107Bは、再び液晶材料105を透過し、偏波状態を変えることなく、偏光子104に到達する。すなわち、入射光の偏波状態と同一の偏波状態の光が偏光子104に戻ってくることとなる。したがって、アルミ電極(反射膜)102Bにおいて反射された反射光が、偏光子104を介して、出射光として得られることとなる。

【0012】一方、図23(B)に示す第2の電圧方向状態では、偏光子104を介して入射した偏光107Aは、液晶材料105を透過することによって複屈折効果を受け、直線偏光だったものが円偏光に変化する。円偏光107Bは、アルミ電極(反射膜)102Bにおいて反射され、この反射によって偏光の回転方向を反対方向となされる。回転方向が反対となった円偏光107Bは、再び液晶材料105を透過することによって複屈折効果を受け、直線偏光となる。このときの直線偏光は、偏光子104の偏光方向と直交しており、したがって、偏光子104を通過しない。

【0013】すなわち、この反射型FLC空間光変調素子においては、第1の電圧方向状態の部分において「白表示」となり、第2の電圧方向状態の部分において「黒表示」となる。

【0014】〔3〕反射型空間光変調素子を用いた投射



(8)

特開2002-23107

13

## 型画像表示装置

一般的な反射型空間光変調素子、例えば、反射型TN液晶パネルを有して構成された投射型の画像表示装置においては、図24に示すように、ランプ光源201より射出した照明光は、光束断面形状の矯正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系202に入射する。この照明光学系202には、図示しないP-S偏光変換器を設けてもよい。このP-S偏光変換器は、無偏光状態の照明光を、P偏光、または、S偏光のどちらか一方の偏光に、50%以上の効率で揃える機能を有する光学ブロックである。

【0015】ここに示した例では、照明光学系202を通過した照明光は、紙面に垂直な方向に電気ベクトルが振動する偏光状態、つまり、赤色光を反射するダイクロイックミラー203の反射面に対してS偏光となっている。すなわち、照明光学系202から射出された照明光は、赤色光を反射するダイクロイックミラー203により、赤色成分のみが進行方向を90°偏向され、続いてこの赤色光は、ミラー204で反射されて、赤色光用の偏光ビームスプリッター（以下、「PBS」という。）20

210に入射する。【0016】PBS210に入射した赤色光は、このPBS210の誘電体膜210aにてS偏向成分のみが反射され、入射偏光として、赤色光用の反射型TN液晶パネル213に入射する。この赤色光用の反射型TN液晶パネル213にて、偏光状態を変調されて反射された照明光は、再びPBS210の誘電体膜210aに入射し、ここでP偏光のみが透過するよう検波されて、偏光変調が強度変調に変換される。強度変調に変換された照明光は、クロスダイクロイックプリズム209に入射する。

【0017】一方、赤色光を反射するダイクロイックミラー203を透過した照明光は、続いて配置された緑色光を反射するダイクロイックミラー205に入射する。このダイクロイックミラー205では、緑色光のみが反射され、残りの青色光成分は、透過する。分離された緑色光及び青色光は、それぞれ前述の赤色光の場合と同様に、PBS211、212により、S偏光のみが反射されて、緑色光用の反射型TN液晶パネル214、青色光用の反射型TN液晶パネル215にそれぞれ入射する。

【0018】緑色光用の反射型TN液晶パネル214、青色光用の反射型TN液晶パネル215にて偏光状態を変調されて反射された照明光は、再びPBS211、212の誘電体膜211a、212aに入射し、ここでP偏光のみが透過するよう検波されて、偏光変調が強度変調に変換される。強度変調に変換された射出光束は、クロスダイクロイックプリズム9に入射する。

【0019】この画像表示装置においては、表示画像に応じて、各色光用の反射型TN液晶パネル213、214、215においてそれぞれ変調された赤色光、緑色光

14

及び青色光は、クロスダイクロイックプリズム209において合成されて、投射光学系208に入射し、スクリーン216上に結像される。

【0020】〔4〕反射型空間光変調素子用照明装置  
反射型空間光変調素子用の照明装置として、図25及び図26に示すように、特開平9-189809号公報に記載された照明装置がある。この照明装置においては、図示しない照明光源より放射された読み出し光が、図25に示すように、カップリングプリズム305、ガラス基板304を経て、ホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bに入射する。

【0021】ここで、303r、303g、303bは、それぞれ赤色用、緑色用、青色用の体積ホログラムレンズであり、予めレーザー露光により干渉縞が焼き付けられた略々1画素大の面積を有する各色光用微小レンズが積層された構造となっている。1画素大とは、R（赤色）、G（緑色）、B（青色）の各1画素の計3画素が組になったものである。これらホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bは、読み出し光のスペクトルの赤色光、緑色光、青色光を、反射型液晶パネルのカバーガラス302、共通電極318、配向膜317、液晶層316、配向膜315及び誘電体ミラー膜314を通して、画素電極層313上のそれぞれ対応する色画素電極313r、313g、313bに集光させる。

【0022】そして、このホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bは、入射光の偏光特性に関する依存性を有している。すなわち、ホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bへの入射光のうち、S偏光が主に回折され、P偏光の回折効率はS偏光よりも低くなっている。これは、「coupled-wave theory」の厳密解により、例えば、反射型の厚いホログラムの場合には、ホログラムの厚さ $l$ とホログラム内の干渉縞のピッチ $\Lambda$ とにより決まる値 $(l/\Lambda)$ が1乃至5の場合、図26に示すように、TE（S偏光）、TM（P偏光）の回折効率には差異が生じ、S偏光はP偏光に比べて最大45%程度大きくなるためである（参考文献：M. G. Moharam and T. K. Gaylord: Rigorous coupled-wave analysis of planar grating diffraction, J. Opt. Soc. Am. 71, 811-818 (1977). M. G. Moharam and T. K. Gaylord: Rigorous coupled-wave analysis of grating diffraction E-mode polarization and losses, J. Opt. Soc. Am. 73, 451-455 (1983)）。

【0023】ホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bに対して斜めに入射した読み出し光のうちのS偏光成分の光が主に回折されて液晶層316に垂直に入射し、この照明光のうち偏光方向が90°変調されて反射された光（P偏光成分）は、上述した現象により、回折効果が低いためにほとんど回折作用を受けずに、ホログラムカラーフィルタ303r、303g、

15

303bから垂直に射出する。

【0024】そして、誘電体ミラー膜314により反射された照明光は、図示しない投射レンズに入射され、この投射レンズによって、スクリーン上に画像を結像する。

【0025】〔5〕偏光選択性ホログラム光学素子  
偏光選択性ホログラム光学素子を表現する手法はいくつかある。例えば、USP5,161,039において公開されているように、光硬化性樹脂、または、熱硬化性樹脂と液晶材料とを混合した混合材料を、ガラスプレート

の間に挟み込んで封止して構成したホログラム光学素子がある。  
【0026】これは、次のような手順により作製される。まず、上述の混合材料を封入したパネルにおいて、レーザー光を干渉させる。これによって発生する干渉縞は、明部にはフォトンが多く存在し、暗部にはフォトンが少なくことによって形成されている。フォトンのエネルギーが高いところ、すなわち干渉縞の明部においては、光エネルギー、または、熱エネルギーにより、樹脂が硬化し凝集する。この結果として、干渉縞の暗部には液晶材料が残存した状態で、樹脂層と液晶層との2つの領域が形成される。

【0027】このようにして構成された偏光選択性ホログラム光学素子の動作原理について、以下に説明する。上述のようにして形成した2つの領域のうち、樹脂層は光学的に等方であるが、液晶層は、異方性、すなわち複屈折性を有している。また、樹脂層の屈折率 $n_1$ と液晶層の常光線屈折率 $n_o$ は、おおよそ等しくなっている。このため、このホログラム光学素子に入射する光のなかで、偏光方向が液晶層の常光線にあたる光線にとっては、樹脂層と液晶層との間の屈折率差が極わずかとなり、回折現象はほとんど現れない。一方、偏光方向が液晶層の常光線に直交する方向の偏光成分については、樹脂層の屈折率 $n_1$ と液晶層の異常光線屈折率 $n_e$ とが異なるため、周期的な屈折率変動が与えられ、回折効果が生ずる。

【0028】また、近年は、光重合を起こすモノマーと液晶分子とを混合し、ホログラフィックな手法によって干渉縞を形成するホログラフィック高分子分散液晶(holographically-formed polymer dispersed liquid crystals、以下「H-PDLC」という。)の研究も盛んである。

【0029】これは、1980年半ばに発見された光誘起相分離「PDLC」から派生した技術である(参考論文: Crawford G.P. and Zumer S., in Liquid Crystals in Complex Geometries, Ulbr and Francis, London (1996))。この「H-PDLC」について、作製手法と動作原理について以下に説明する。

【0030】まず、液晶分子、モノマー(プレポリマー)、増感色素、反応開始剤などを混合した材料を、ガ

(9)

特開2002-23107

16

ラスプレートの間に挟み込んで封止する。これを、レーザー光により形成した干渉縞にさらす。すると、干渉縞の明部においては、モノマーが光重合を開始してポリマー化する。このため、干渉縞の明部と暗部とにおいて、モノマーの濃度分布が発生し、暗部から明部へのモノマーの移動が起こる。結果的に、ポリマー濃度に富んだ明部と、液晶分子が豊富な暗部という相分離による周期構造ができる。次の段階としては、液晶分子がポリマー相に直交するように配列する。この現象のメカニズムは現在のところ解明されていないが、様々な関連の研究がおこなわれている(例えば、「C. C. Bowley, A. K. Fontecchjo, and G. P. Crawford, Proc. SID XXX, 958(1999)」)。

【0031】この後、紫外線照射を行ない、定着プロセスを行う。以上のようにして作成されたホログラム光学素子は、前述のUSP5,161,039にて開示されているホログラム光学素子と同様に、ポリマー層の屈折率と液晶層の常光線屈折率とがほぼ等しく、ポリマー層の屈折率と液晶層の異常光線屈折率とが異なるため、偏光選択性ホログラム光学素子として機能する。

【0032】〔6〕ホログラム光学素子の応用技術  
次に、ホログラム光学素子の従来の応用例について述べる。応用例としては、光スイッチ、画像表示装置用反射板、投射型画像表示装置用偏光変換器などがある。以下、これらについて説明する。

【0033】〔6-1〕光スイッチ  
光スイッチとしてのホログラム光学素子の応用例を、図27を参照して説明する。このホログラム光学素子は、例えば、特開平5-173196号公報に記載されているように、図27中の(a)に示すように、高分子材料425からなる領域と正のネマティック液晶材料(屈折率楕円体の長軸が液晶分子の長軸と一致しているネマティック液晶材料)424からなる領域とが交互に積層された状態の周期構造を持つホログラム層を、透明電極422、423を有するガラスプレートによって挟み込んだ構造となっている。

【0034】このホログラム光学素子は、図27中の(a)に示すように、透明電極に電圧をかけない場合には、ネマティック液晶材料(液晶分子)424は、高分子材料425に対して垂直となるよう配向しているため、前述のように、ネマティック液晶材料424に対して異常光線となるような偏光方位の入射光については、周期的な屈折率変動により回折効果が得られる。

【0035】一方、図27中の(b)に示すように、透明電極422、423間に電圧を印可し、ネマティック液晶材料(液晶分子)424の長軸を高分子材料425に対して平行とさせた場合には、上述の図27中の(a)においてネマティック液晶材料424に対して異常光線となっていた偏光方位の入射光は、該ネマティック液晶材料424に対して常光線となり、高分子材料4

(10)

特開2002-23107

17

25との間に屈折率差は生じないので、回折現象は発生しない。

【0036】このホログラム光学素子は、このような原理により、印可電圧を制御することにより、光スイッチとして機能させることができる。

【0037】〔6-2〕画像表示装置用反射板

また、ホログラム光学素子の画像表示装置用反射板としての応用例としては、例えば、特開平9-138396号公報に記載されているように、図28に示すように、外界から直視用反射型液晶パネル502に入射する光線504を、ホログラム反射板503により正反射方向とは異なる方位506に反射させることにより、観察者の瞳507に直視用反射型液晶パネル502の表面反射光505を入射させることを防止して、コントラストの良好な画像表示を行おうとするものである。なお、この場合のホログラムは、偏光性ホログラムである必要はない。

【0038】〔6-3〕投射型画像表示装置用偏光変換器

ホログラム光学素子の投射型画像表示装置用偏光変換器への応用例においては、例えば、特開平8-234143号公報に記載されているように、図29に示すように、光源610から放射される照明光は、アルミ蒸着などが施された反射板612により一方向に略平行光束として射出される。そして、照明光は、ディフューザ615を通過して拡散された後、レンチキュラーアレイ616に入射される。これは、LCD（液晶ディスプレイ）614に照射される照明光の輝度むらを低減し、かつ、レンチキュラーアレイ616の矩形変換機能などにより、照明効率をあげるためである。

【0039】そして、照明光は、透過型偏光選択性ホログラム光学素子618に入射する。ここで、上述のような偏光選択性ホログラム光学素子618の機能により、P偏光、S偏光の各成分を射出角度により分離する。次に、照明光は、パターン化された1/2波長板アレイ620に入射する。照明光は、この1/2波長板アレイ620において、P偏光成分、S偏光成分のうち、LCD614の入射偏光方位に対して直交している偏光方位成分が、この1/2波長板アレイ620のパターン化された1/2波長板部分を通過し、偏光方位を90°変換される。

【0040】このホログラム光学素子は、このようにして、光源610より放射される照明光の利用効率を向上させようとするものである。

【0041】

【発明が解決しようとする課題】上述したような画像表示素子及び画像表示装置について、本発明が解決しようとする課題を以下に示す。

【0042】（1）まず、図24に示した反射型空間光変調素子を用いた投射型の画像表示装置のように、反射

18

型空間光変調素子を照明するために偏光ビームスプリッタ（以下「PBS」という。）を用いた場合には、このPBSは、少なくとも反射型空間光変調素子の画像表示部の長辺よりも大きな長さの辺を有する立方体形状となるため、反射型空間光変調素子と投射光学系との距離、すなわち、投射光学系のバックフォーカスを短くすることができない。投射光学系は、バックフォーカスが長くなると、Fナンバーを小さくすること、すなわち、明るいレンズとすることが困難となる。したがって、この画像表示装置においては、光源から発せられる照明光の利用効率が低い。

【0043】また、この画像表示装置においては、PBSを使用していることにより、装置構成の小型化が困難であり、また、このPBSがガラス製であるために、装置の軽量化が困難である。さらに、このPBSは、複屈折及び熱歪みの少ない良質なガラス材により作製しなければならず、また、P偏光とS偏光との分離のために誘電体多層膜を用いているため、高価な部品であり、画像表示装置全体の製造コストの低減化を困難としている。

また、このPBSは、偏光分離特性の入射波長依存性及び入射角度依存性が大きいので、このPBSを用いて構成された画像表示装置においては、高コントラスト、高均一性、高色再現性を有する画像の表示を行うことが困難である。

【0044】（2）上述した課題を解決する一つの手段としては、図25に示したような、PBSを使用しない反射型空間光変調素子用照明装置が提案されている。しかしながら、この図25に示す画像表示装置においては、以下に示すような問題がある。すなわち、反射型空間光変調素子のウィンドウ面（入射射出面）側に設けられたホログラム光学素子303が、偏光選択性ホログラム光学素子ではなく、偏光依存性ホログラム素子であるため、光利用効率が低い。

【0045】これは、このホログラム光学素子が、屈折率変動の周期構造を構成する層に複屈折性を有する層を有していないために、P偏光、S偏光のうちどちらかの回折効率を0とすることが不可能であることによる。

【0046】また、この画像表示装置においては、画像表示のための照明光として使われるべきP偏光の回折効率をなるべく低く抑え、回折によって再び照明光源の方向に戻らないようにするために、ホログラム光学素子により回折されるS偏光照明光を反射型空間光変調素子に対して垂直方向から傾きをもって入射させ、P偏光に変換された反射光のホログラム光学素子への再入射角度を1回目の入射角度と異なる入射角度とすることにより、回折条件に合致しない状態とする手法が提案されている。

【0047】ところが、この場合、反射型空間光変調素子からの反射光が垂直方向に対して傾いて射出されてテレセントリック性が崩れるため、通常の共軸投射光学系

(11)

特開2002-23107

19

においては、効率の低下を防止するため、光学系のイメージサークルを大きくする必要が生じる。投射光学系のイメージサークルを大きくすることは、装置の大型化、高コスト化を招来することとなる。また、通常の反射型空間光変調素子においては、光線入射角度が垂直方向からずれると、コントラストが劣化する場合が多いので、この画像表示装置においては、高コントラストの画像表示が行えないこととなる。

【0048】そして、これらの問題以前に、この画像表示装置においては、P偏光成分を回折条件に合致しない状態とすることは非常に困難であるという問題がある。すなわち、この画像表示装置においては、ホログラムカラーフィルターのホログラムレンズ中心と、反射型空間光変調素子の画素電極の中心とを、ホログラムレンズの大きさの0.5程度ずらすようになっている。この場合、各ホログラムレンズの主光線の反射型空間光変調素子の画素電極への入射角 $\theta_{in}$ は、

$$\theta_{in} = \text{ArcTan} [r / Lp]$$

( $r$ : ホログラムレンズの半径)

( $Lp$ : ホログラムレンズと反射型空間光変調素子のアルミ画素電極との間の厚さ方向の距離)

であり、いま $Lp = 0.7 \text{ mm}$  (カバーガラス厚を $0.7 \text{ mm}$ と仮定)、 $r = 10 \mu\text{m}$  (R、G、Bを合わせた1画素のサイズを $20 \mu\text{m}$ と仮定)とすると、 $\theta_{in}$ は、 $\theta_{in} = \text{ArcTan} [r / Lp] = 0.82^\circ$ となる。これは、ホログラムカラーフィルタに入射する照明光の広がり角( $\pm 1.0^\circ$ 程度)に比較してわずかであり、P偏光とS偏光の角度差が、 $1.64^\circ$  ( $= 0.82 \times 2$ )と小さい場合、これらを入射角度により分離することは非常に困難である。

【0049】仮に、ホログラムカラーフィルターの回折許容角度の範囲が $1^\circ$ 乃至 $2^\circ$ であるとする、偏光分離特性は向上するが、照明光の広がり角 $\pm 1.0^\circ$ のうち実際に回折され有効に使用できる光量は、非常に少なくなってしまう、現実的ではない。

【0050】また、ホログラム光学素子の偏光依存性を利用するためには、S偏光が入射光(すなわち、回折光)となるように設定する必要があるため、照明光の利用効率の低下及び表示画像のコントラストの低下を招く。そして、これら照明光の利用効率の低下や表示画像のコントラストの低下を抑制するためには、そのための追加の部材や光学素子が必要となり、装置全体の製造コスト増加、重量増加を招く。

【0051】これは、以下の理由による。すなわち、図30に示すように、ホログラムの厚さを0から次第に厚くしていく過程において十分な偏光依存性が得られる最初の状態においては、S偏光に対する回折効率が大きくなり、P偏光に対する回折効率は小さくなっている。この後、ホログラムの厚さ $d$ を大きくしていくことにより、逆に、P偏光に対する回折効率が大きくなり、S偏光に対す

20

る回折効率を小さくすることも可能である。

【0052】しかしながら、透過型ホログラムの回折効率の波長依存性、入射角度依存性は、ホログラムの厚さが増すとともに高くなる。つまり、ホログラム露光時のレーザーの所定の波長、所定の入射角からのずれの許容量(回折効率が確保できる範囲)が小さくなってしまい、光利用効率が低下してしまうという問題がある。

【0053】図31及び図32は、物体光入射角 $0^\circ$ 、参照光入射角 $60^\circ$ 、ホログラムの平均屈折率1.52、ホログラム層の屈折率変調度0.05、ホログラム層の厚さ $5 \mu\text{m}$ 、露光波長 $532 \text{ nm}$ の条件で作製されたホログラム光学素子を、再生波長 $532 \text{ nm}$ で読み出した場合の回折効率の入射角度依存性を示したものである。厚さ $6 \mu\text{m}$ のもの(図31)と、厚さ $18 \mu\text{m}$ のもの(図32)とについて計算した結果である。なお、ここでは、入射偏光は、S偏光を仮定している。以上より、実質上、入射偏光はS偏光とする必要があることがわかる。

【0054】ところで、屈折率が小さい媒体から屈折率が大きな媒体に光が進行する場合、その表面反射率には、図33に示すように、偏光依存性がある。このような偏光依存性により、空気中で屈折率が1.5であるガラスに、P偏光及びS偏光が入射した場合の表面反射率は、常に、S偏光の方が大きい。また、入射角が、 $\tan \theta = n$  ( $n = 1.5$ )を満たす角度、すなわち、ブリュースター角(この場合は $56.3^\circ$ )のときには、P偏光の反射率は0となる。このとき、S偏光の反射率は、15%程度となる。

【0055】これは、ホログラム光学素子のガラス基板に、斜め方向から光線を入射(off-axis入射)させる場合、P偏光を入射させる方が、光の利用効率がよいことを意味する。上述のホログラム光学素子では、S偏光を入射させなければならないので、図25に示すように、カップリングプリズム305を用いることで効率の低下を回避している。しかし、このようなカップリングプリズムを用いることは、部品点数の増加、装置の重量増加、高コスト化を招来する。また、カップリングプリズムを用いても、表面反射率を0とすることはできない。したがって、迷光の発生や、表示画像のコントラストの劣化を確実に防止することはできない。

【0056】さらに、カップリングプリズムを用いると、照明手段からホログラム層への光線の入射面角は、照明手段から射出される光線面角そのものとなる。照明手段から射出される光線面角は、典型的なプロジェクター光学系の場合には、 $\pm 1.0^\circ$ 程度となっており、この範囲内でホログラム光学素子の回折効率を高い値で均一に維持することは容易ではない。

【0057】また、次式に示すラグランジュ-ヘルムホルツの不変量にて示されるように、ランプ光源からの照明光をある面積の画像表示素子に照射しようとして集光

(12)

特開2002-23107

21

すると、その入射角度 ( $u'$ ) は、画像表示素子の大きさ ( $y'$ ) に反比例して小さくなる。

【0058】  $y'nu = y'n'u'$  (ラグランジュ-ヘルムホルツの不変量)

( $y'$ : 光軸からの像高)

( $n$ : 媒質の屈折率)

( $u'$ : 光線の傾角)

上式は、積 ( $y'nu$ ) なる値が、光学系のどの面においても、不変であることを示している。つまり、左辺の積  $y'nu$  が有限の値をとる限り、画像表示素子を小型化すると、画像表示素子への入射角はさらに大きくなってしまふ。これは、高効率のホログラム光学素子を実現するうえで一層不利な要因となる。図31に示したように、回折効率は、そのピーク値を与える入射角度から  $+10^\circ$  ずれると25%に、 $-10^\circ$  ずれるとほぼ0%に低下してしまうことがわかる。

【0059】 また、上述の画像表示装置においては、ホログラム光学素子を常にカラーフィルタとして用いている。そのため、この画像表示装置においては、ホログラム光学素子に略々画素の面積に等しい大きさの微小レンズを作成し、これら微小レンズを液晶表示素子の各画素に対して正確に位置合わせをする工程が必要であり、製造の困難性及びコスト増が招来されることとなっている。

【0060】 さらに、上述の画像表示装置においては、いわゆる「フィールドシーケンシャルカラー手法」及び色光別に反射型画像表示素子を複数用いる装置構成に対応することができない。

【0061】 また、上述のホログラムカラーフィルタを用いた画像表示装置においては、入射光について各色光ごとに分光及び集光をしなくてはならないため、表示画像の色再現性や高精細化と、照明光の利用効率とは、トレードオフの関係になる。

【0062】 この関係について以下に説明する。図34に示すように、ホログラムカラーフィルタ700と反射型空間光変調素子701の画素電極702との間の距離を  $L_p$ 、1色画素電極のサイズを  $2r$  とし、該1つの色画素上に照明光が収束するためのホログラムレンズからの主光線の射出角許容値  $\Delta\theta_1$  を求めてみる。

【0063】  $\Delta\theta_1 = \text{ArcTan}[r/L_p]$

$L_p = 0.7\text{mm}$ ,  $r = \pm 5\mu\text{m}$  とすると、 $\Delta\theta_1 = \pm 0.4^\circ$  となる。

【0064】 ここで、ホログラムの干渉縞による入射角  $\theta_c$  と回折射出角  $\theta_i$  は、次に示す等式により関係づけられる。

$$(\sin\{\theta_s\} - \sin\{\theta_r\})/\lambda = (\sin\{\theta_i\} - \sin\{\theta_c\})/\lambda_c$$

( $\theta_s$ : ホログラム製造時の物体光入射角)

( $\theta_r$ : ホログラム製造時の参照光入射角)

( $\lambda$ : ホログラム製造波長)

22

( $\lambda_c$ : 再生波長)

これより、いま  $\theta_s = 0^\circ$ ,  $\theta_r = 60^\circ$ ,  $\lambda = 550\text{nm}$ ,  $\lambda_c = 550\text{nm}$ ,  $\theta_i = \pm 0.4^\circ$  とすると、 $\theta_c = 60 \pm 0.8^\circ$  となり、照明光束のホログラムカラーフィルタへの入射角度許容範囲は非常に狭いことがわかる。また、 $\theta_s = 0^\circ$ ,  $\theta_r = 60^\circ$ ,  $\lambda = 550\text{nm}$ ,  $\theta_c = 60^\circ$ ,  $\theta_i = \pm 0.4^\circ$  とすると、 $\Delta\lambda_c = 550 \pm 4.5\text{nm}$  となり、照明光のホログラムカラーフィルタへの入射波長許容範囲は非常に狭いことがわかる。

【0065】 以上のことから、ホログラムカラーフィルタに入射される照明光は、高い平行度と狭い波長帯域が要求されることになり、通常のランプ光源を使用する場合には、発光部が有限 (1mm程度) の大きさを有すること及び発光波長帯域がブロードであることの2点より、光利用効率が著しく低下することとなる。逆に、光利用効率を向上させようとする、画素サイズを大きくするか、隣接する色画素への漏れ光を許容するといった手段しかなく、前者においては表示画像の精細度、後者については色純度、色再現性が、それぞれ低下することになる。

【0066】 そして、上述の画像表示装置においては、ホログラム光学素子を反射型として使うことができない。これは、図26に示すように、ホログラム光学素子を反射型で用いて、P偏光とS偏光とで回折効率の差が、例えば、30%以上となるようにするには、 $d/\Lambda$  ( $d$ : ホログラムの厚さ、 $\Lambda$ : 干渉縞のピッチ) が1.0乃至3.0程度の値となる必要がある (参考論文 M. G. Moharam and T. K. Gaylord: Rigorous coupled-wave analysis of planar grating diffraction, J. Opt. Soc. Am. 71, 811-818 (1977) からの引用)。

【0067】 ここで、

$$\Lambda = \lambda / [2 \sin\{(\theta_s - \theta_r)/2\}]$$

( $\theta_s$ : 物体光の入射角)

( $\theta_r$ : 参照光の入射角)

であるから、P偏光、S偏光のどちらかが垂直入射の場合、反射型ホログラムとなるためには、 $(\theta_s - \theta_r)$  の最小値は  $90^\circ$  となる。このとき、

$$[2 \sin\{(\theta_s - \theta_r)/2\}]$$

は、最小値1.41をとる。 $\lambda = 0.5\mu\text{m}$  とすると、このとき  $\Lambda$  は、最大値0.35  $\mu\text{m}$  となり、 $d/\Lambda = 1.0$  乃至3.0を満たすホログラムの厚さ  $d$  は、最大でも1  $\mu\text{m}$  となる。これほど薄いホログラム層を作製することは、非常に困難である。

【0068】 上述したような従来より提案されている種々のホログラム光学素子の応用技術において、照明光を斜めに入射することにより反射型空間光変調素子を高効率で照明できる応用技術はなかった。

【0069】 次に、反射型空間光変調素子を用いた虚像表示光学系には、USP5,596,451において公

(13)

特開2002-23107

23

開されているように、図35に示すように、立方体状の偏光ビームスプリッタ848の構成面付近に反射型空間光変調素子836、照明光源834、反射鏡842を配置した構成がある。

【0070】ところが、この光学系においては、図35において明かなように、照明光の一部860が偏光ビームスプリッタ848によって、反射型空間光変調素子836に到達せずに、直接観察者の観察領域846に達してしまい、この照明光がノイズとして観察者の瞳824に入射することにより、反射型空間光変調素子836が表示する画像情報のコントラストが低下してしまうという本質的な問題がある。

【0071】また、この光学系では、光学系全体が立方体状の形状となるため、厚さが大きくなる。また、偏光ビームスプリッタの誘電体膜864の性能を上げれば製造コストが高くなってしまい、逆に、該誘電体膜の性能が低いと、該電体膜の偏光反射率や透過率の入射角度依存性、波長依存性により、特に、瞳の移動に伴って画像の均一性が低下するという問題がある。

【0072】これを改善するために、特開平11-125791号公報に記載されている画像表示装置においては、図36に示すように、反射型空間光変調素子908及び自由曲面プリズム910を用いて虚像表示光学系を構成している。

【0073】この画像表示装置においては、図36に示すように、反射型空間光変調素子908に対して、光源912からの照明光を直接入射させ、この反射光を自由曲面プリズム910に第3面905より入射させ、第1面903での反射、第2面904での反射、第1面903の透過を経て、瞳901に到達させて、虚像表示を行っている。この光学系の問題点としては、反射型空間光変調素子908に入射する照明光の入射角が大きくなってしまい、反射型空間光変調素子908自体の変調度が低下し、表示画像のコントラストが劣化するということがある。

【0074】また、図37に示すように、自由曲面プリズム910内を通して光源912より放射される照明光を反射型空間光変調素子908に入射させ、この反射光を自由曲面プリズム910に第3面905より入射させ、第1面903での反射、第2面904での反射、第1面903の透過を経て、瞳901に到達させて、虚像表示を行う光学系の場合には、主に2つの問題がある。

【0075】第1の問題は、反射型空間光変調素子908が偏光変調型（位相変調型）の空間光変調素子である場合、反射型空間光変調素子908に入射される照明光は、特定の偏光方位を有する直線偏光でなくてはならない。ところが、自由曲面プリズム910は、プラスチック材料にて射出成形で製造されるため、内部に複屈折を有する。このため、直線偏光を自由曲面プリズム910に入射させても偏光状態が保存されず、表示画像の

24

コントラストが劣化するという問題が生ずる。これは、偏光板を反射型空間光変調素子908と自由曲面プリズム910の第3の面（屈折面）905との間に配置することにより、見かけ上回避できるが、このとき、表示モードが「ノーマリーホワイト」となり、やはり表示画像のコントラストが劣化する要因となる。

【0076】第2の問題は、照明光が接眼光学系である自由曲面プリズム910に入射されることに伴うもので、該照明光が、自由曲面プリズム910内部で、各光学面903、904、905で内部反射を起こし、迷光を発生させるということである。この迷光の一部は、観察者の瞳901に到達するため、やはり表示画像のコントラストの劣化の要因となる。

【0077】このように、従来から提案されている種々の画像表示装置においては、ハーフミラーを用いた照明光学系においては、装置の小型化が困難であり、また、照明光の利用効率が低く、偏光ビームスプリッタを用いた照明光学系においては、装置の小型化が困難であり、また、表示画像の均一性が低く、製造コストが高く、空間光変調素子を直接照明する照明光学系及びプラスチック製光学部材を通して照明する照明光学系においては、表示画像のコントラストの低下という問題がある。

【0078】そこで、本発明は、上述の事情に鑑みて提案されるものであって、照明光の光利用効率が高く、装置の小型化、低コスト化が可能であり、また、表示画像の均一性、高コントラスト性が実現された画像表示素子及び画像表示装置を提供しようとするものである。

【0079】

【課題を解決するための手段】上述の課題を解決するため、本発明に係る画像表示素子は、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有し照明光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の偏光状態を変調する反射型空間光変調素子とを備えている。

【0080】そして、この画像表示素子においては、偏光選択性ホログラム光学素子が、照明光受光面の法線に対して30°以上90°未満の入射角で照明光を入射され、照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させることを特徴とするものである。

【0081】そして、本発明に係る画像表示装置は、上述の本発明に係る画像表示素子と、照明光を放射する光源と、この光源より放射された照明光を画像表示素子の偏光選択性ホログラム光学素子に入射させる照明光学系

(14)

特開2002-23107

25

と、画像表示素子の反射型空間光変調素子及び偏光選択性ホログラム光学素子を経た照明光をスクリーン上に投射する投射光学系とを備えている。

【0082】この画像表示装置においては、偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光学系により、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光を入射され、照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させ、投射光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子の透過光をスクリーン上に投射することを特徴とするものである。

【0083】また、本発明に係る画像表示装置は、上述の画像表示装置において、照明光を互いに異なる複数の波長帯域成分に分離する色分離手段を設け、照明光学系を、互いに異なる複数の波長帯域成分に分離された照明光を偏光選択性ホログラム光学素子に入射させるものとし、反射型空間光変調素子を複数として、偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光のうちの互いに異なる複数の波長帯域成分の偏光状態をそれぞれ変調するものとし、複数の反射型空間光変調素子によりそれぞれ変調された互いに異なる波長帯域の照明光を合成する色合成手段を設け、投射光学系を、色合成手段を経た照明光をスクリーン上に投射するものとしたものである。そして、この画像表示装置は、投射光学系が、偏光選択性ホログラム光学素子を透過して色合成手段を経た照明光をスクリーン上に投射することを特徴とするものである。

【0084】さらに、本発明に係る画像表示装置は、上述の画像表示装置において、照明光の互いに異なる第1及び第2の波長帯域成分の偏光状態を互いに直交する直線偏光成分として分離させる波長帯域別偏光分離手段を設け、照明光学系を、第1及び第2の波長帯域成分に分離された照明光を偏光選択性ホログラム光学素子に入射させるものとし、第1及び第2の反射型空間光変調素子を設けてこれらを偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の第1及び第2の波長帯域成分の偏光状態を対応して変調するものとし、投射光学系を、各反射型空間光変調素子を経た照明光をスクリーン上に投射するものとしたものである。そして、この画像表示装置は、投射光学系が、第1の反射型空間光変調素子及び偏光選択性ホログラム光学素子を経た第1の波長帯域成分の照明光と、第2の反射型空間光変調素子及び偏光選択性ホログラム光学素子を経た第2の波長帯域成分の照明光とを、スクリーン上に投射することを特徴とするものである。

【0085】そして、本発明に係る画像表示装置は、上

26

述の画像表示装置において、投射光学系に代えて、反射型空間光変調素子を経た照明光を観察者の瞳に導く虚像観察光学系を設け、この虚像観察光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子の透過光を観察者の瞳に導くものとしたことを特徴とするものである。

【0086】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明する。

【0087】〔1〕偏光選択性ホログラム光学素子を用いた反射型画像表示素子

本発明に係る画像表示素子として、高分子分散液晶（以下、「PDL C」という。）を材料とした液晶パネルを偏光選択性ホログラム光学素子として有している実施の形態について説明する。

【0088】初めに、図1に示すように、「PDL C」を使った偏光選択性ホログラム光学素子について、構造及び製造プロセスについて説明する。なお、製造プロセス中は、素子の温度を $60^\circ\text{C}$ 程度に保っておくことが重要である。

【0089】まず、光重合を起こす前の高分子（以下、プレポリマーという。）、TN液晶、開始剤、色素などが混合された「PDL C」をガラス基板1、2間に挟み込む。このとき、TN液晶の重合割合は、全体の30%程度とする。また、この「PDL C」の層厚（以下、セルギャップという。）は、 $2\mu\text{m}$ 乃至 $15\mu\text{m}$ の範囲で、偏光選択性ホログラム光学素子の仕様にあわせて最適値を選ぶ。

【0090】次に、「PDL C」パネル3に干渉縞を記録するために、図示しないレーザー光源からの物体光4及び参照光5を「PDL C」パネル3に照射し、干渉による光の強弱Bを発生させる。このとき、干渉縞の明るいところ、すなわち、光子のエネルギーが大きい場所では、そのエネルギーにより、「PDL C」中のプレポリマーが光重合を起こしポリマー化する。このため、プレポリマーが周辺部から徐々に供給され、結果的にポリマー化したプレポリマーが密な領域と疎な領域とに分かれる。プレポリマーが疎な領域では、TN液晶の濃度が高くなり、こうして、高分子領域6と液晶領域7の2つの領域が形成される。

【0091】本実施の形態の場合、物体光4と参照光5とが「PDL C」パネル3に対して同じ面側から照射されているため、これによって製造される偏光選択性ホログラム光学素子は透過型となるが、物体光4と参照光5とを「PDL C」パネル3に対して互いに異なる面側から照射すれば、反射型の偏光選択性ホログラム光学素子を製造することができる。

【0092】ところで、前述のようにして製造された「PDL C」パネル3の高分子領域6は、屈折率に関して等方的で（屈折率等方性を有し）、その値は、例えば、1.5となされている。一方、「PDL C」パネル

(15)

27

3の液晶領域7においては、TN液晶分子が、長軸を高分子領域6との境界面に対して略々垂直にして並んでいる。このため、液晶領域7は、屈折率異方性を有し、屈折率が入射光方位依存性を有しており、この場合、富光線となるのは、「PDL C」パネル3の光線入射面8に入射する再生光5を考えた場合、S偏光成分である。

【0093】そして、この液晶領域7の富光線屈折率 $n_{lo}$ を高分子領域6の屈折率 $n_p$ に略々等しく（例えば、屈折率差が0.01未満と）すれば、入射S偏光成分に対する屈折率の変調は極めて小さく、回折現象はほとんど生じない。一般に、TN液晶の富光線屈折率 $n_{lo}$ と異富光線屈折率 $n_{le}$ との差 $\Delta n$ は、0.1乃至0.2程度であるため、入射方向が等しい再生光5の場合でも、そのP偏光成分については、高分子領域6と液晶領域7との間に屈折率差が生じていることとなり、この「PDL C」パネル3は、位相変調型ホログラムとして機能し回折効果を示す。

【0094】これが、「PDL C」パネルを用いた偏光選択性ホログラム光学素子（以下、「H-PDL C」パネルという）の動作原理である。

【0095】本実施の形態におけるホログラム光学素子は、「coupled-wave theory」により導かれる偏光依存性を利用したものであり、本質的に偏光選択性ホログラム光学素子ではない。そのため、実効的には、S偏光回折効率とP偏光回折効率との差は30%乃至50%程度と考えられる。例えば、S偏光回折効率が70%、P偏光回折効率が30%と仮定すると、光利用効率は、表面反射や吸収による損失を無視した場合でも、49%（ $=70\% \times 70\%$ ）となる。参考に、入射角 $42^\circ$ 、干渉縞傾角 $120^\circ$ の透過型ホログラムの場合の回折効率の偏光依存性を示したものを図30に示す（参考論文：

「M. G. Moharam and T. K. Gayload: Rigorous coupled-wave analysis of planar grating diffraction, J. Opt. Soc. Am. 71, 811-818 (1977)」。これより、+1次のS偏光回折効率とP偏光回折効率との差（図30中のH（P偏光に相当）とE（S偏光に相当）との差）は、 $d/\Lambda$ （ $d$ ：ホログラムの厚さ、 $\Lambda$ ：干渉縞のピッチ）が5.0のときで、約20%となっている。

【0096】〔2〕画像表示素子の実施の形態（第1乃至第3の実施の形態）

次に、前述の「H-PDL C」パネルを用いた本発明に係る反射型画像表示素子の第1の実施の形態について、図2を参照して説明する。この画像表示装置においては、図1で説明した「H-PDL C」パネル3に、反射型空間光変調素子となる反射型FLC液晶パネル10が、界面11において光学的に密着されて配設されている。

【0097】本発明に係る画像表示素子において、空間光変調素子は、この空間光変調素子において反射される光を変調する反射型空間光変調素子であって、入射光の

特開2002-23107

28

偏光状態を変調する偏光変調型空間光変調素子であり、例えば、入射直線偏光の偏光方向を回転して反射するものである。

【0098】反射型FLC液晶パネル10の構造、動作原理は、図23において上述した内容と同一である。本実施の形態の「H-PDL C」パネル3は、図2に示すように、入射角 $\theta$ の物体光4と、入射角 $\theta_{in-air}$ の参照光5によって製造されている。このときの干渉縞の傾き角 $\theta_{int}$ を求める。

【0099】いま、仮定としてガラス基板1の屈折率を $n_{qla}$ 、「PDL C」の平均屈折率も簡単のために同じく $n_{qla}$ とすると、下式が成立する。

【0100】

$$n_{qla} \sin(\theta_{in-med}) = \sin(\theta_{in-air})$$

（ $\theta_{in-med}$ ：媒質中での入射角）

この式において、 $n_{qla} = 1.5$ 、 $\theta_{in-air} = 60^\circ$ とすると、 $\theta_{in-med} = 35.3^\circ$ となる。これより、干渉縞の傾き角 $\theta_{int}$ は、

$$\theta_{int} = \theta_{in-med} / 2 = 17.7^\circ$$

となる。

【0101】次に、この画像表示装置の動作原理を説明する。まず、P偏光成分とS偏光成分両方を含む再生光5が入射角 $\theta_{in-air}$ で「H-PDL C」パネル3のガラス基板1より入射する。ガラス基板1で屈折された入射光は、続いてホログラム層9に、入射角 $\theta_{in-med}$ にて入射する。

【0102】このとき、この構成のホログラム層9においては、前述したように、P偏光成分は、回折されて、反射型FLC液晶パネル10に対して略々垂直に入射光51として入射する。そして、このP偏光成分は、アルミ反射面14で反射され、FLC層13を往復することにより変調され、ホログラム層9に再入射する。このとき、P偏光成分は、ホログラム層9において再び回折されて射出光53として再生光5の逆方向に戻り、S偏光成分は、ホログラム層9にて回折されることなく、射出光52として「H-PDL C」パネル3から垂直に射出する。

【0103】一方、再生光5のS偏光成分は、「H-PDL C」パネル3のホログラム層9にて回折されることなく、そのまま $\theta_{in-med}$ の入射角にて反射型FLC液晶パネル10に入射する。このとき、S偏光成分は、反射型FLC液晶パネル10のFLC層13を通過することにより偏光状態の変調を受けるが、アルミ反射面14で反射された反射光54は、ホログラム層9が厚いホログラムであるため回折条件に合致せず、S偏光成分はもちろんP偏光成分もほとんど回折されることなく「H-PDL C」パネル3を透過していく。たとえFLC層13での変調により生じたP偏光成分の一部がホログラム層9で回折されたとしても、反射光54の射出方向を射出光52との射出方向に対して十分に異なった方向として



(15)

特開2002-23107

29

おくか、または、射出光52の光路中に射出光52が主に有する偏光成分を選択的に透過させる偏光板を設置することにより、これら反射光54と射出光52とを分離することができる。

【0104】すなわち、本発明に係る画像表示装置においては、偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光学系により、照明光受光面の法線に対して30°以上90°未満の入射角で照明光が入射され、照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させるものである。

【0105】ここで、「厚いホログラム」について説明する。「厚いホログラム」の定義は、次に示すQ値が10以上であることとする（参考図書：辻内順平著「ホログラフィー」（裳華房））。Q値は、以下の式により定義される。

$$【0106】Q = 2\pi\lambda t / \{n\Lambda^2\}$$

( $\lambda$ : 再生波長)

( $t$ : ホログラム層の厚さ)

( $n$ : ホログラム層の平均屈折率)

( $\Lambda$ : 干渉縞のピッチ)

そして、干渉縞のピッチ $\Lambda$ は、以下のようにして決まる。

【0107】

$$\Lambda = \lambda c / \{2 \sin \{(\theta_s - \theta_r) / 2\}\}$$

( $\lambda c$ : 製造波長)

( $\theta_s$ : 物体光の入射角)

( $\theta_r$ : 参照光の入射角)

仮に、 $\lambda c = 0.55 \mu\text{m}$ 、 $\theta_s = 60^\circ$ 、 $\theta_r = 0^\circ$ 、 $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ 、 $t = 5 \mu\text{m}$ 、 $n = 1.5$ とすると、干渉縞のピッチ $\Lambda = 0.55 \mu\text{m}$ 、 $Q = 38.1$ となり、厚いホログラムの定義にあてはまる。

【0108】厚いホログラムは、回折効率がいが、製造のときの使用波長、物体光、参照光の入射角などの構成から、再生光の条件がはずれると回折効率が急激に低下するという特徴をもつ。つまり、ある再生波長において、回折効率のピークを与える入射角から再生光の入射角が大きくなると、回折効率は顕著に低下することになる。そのため、前述のように反射光54は、たとえP偏光成分であっても、ホログラム層9にて回折されにくくなる。

【0109】本発明における偏光選択性ホログラム光学素子は、高い回折効率を目的として干渉縞のピッチ $\Lambda$ を小さくするために、ベンド角 $|\theta_s - \theta_r|$ を30°以上に設定することを特徴としている。ただし、ベンド角が大きすぎる（例えば、80°以上である）と、回折効

30

率は発生する波長帯域及び入射角度範囲が小さくなり、光利用効率が低下してしまう。

【0110】実際の画像表示においては、図23にて上述したように、画素ごとに反射型F LC液晶パネル10のF LC層13が制御され反射光の偏光状態が変調されるため、主にS偏光成分を有する射出光52により画像表示が可能となる。

【0111】ここで、「H-PDLC」パネル3への再生光入射角 $\theta_{in-air}$ とホログラム層9への入射角 $\theta_{in-med}$ について考える。両者の関係は、上述したように、 $n_{qla} \cdot \sin(\theta_{in-med}) = \sin(\theta_{in-air})$ となっている。ここで、両者の変化率を見てみると、例えば、 $n_{qla} = 1.5$ として、 $\theta_{in-air}$ が55°から65°まで10°変化するとき、 $\theta_{in-med}$ は、33.1°から37.2°と4.1°の変化にとどまる。 $\theta_{in-air}$ が65°から75°まで10°変わる場合には、 $\theta_{in-med}$ は、37.2°から40.1°と2.9°の変化となる。これは、 $\sin$ 関数の変化率の大きいところを、ある倍率（この場合、 $n_{qla}$ の逆数）をかけることにより変化率の小さいところに移動することに他ならない。そして、このことは、前述のように、「H-PDLC」パネル3の回折効率の再生光入射角依存性による均一性の劣化及び回折効率の低下を低減することができることを意味している。

【0112】また、この $\theta_{in-med}$ の $\theta_{in-air}$ に対する変化率は、 $n_{qla}$ が大きい程小さくできる。例えば、 $n_{qla} = 1.73$ の場合、 $\theta_{in-air}$ が55°から65°まで変化するとき、 $\theta_{in-med}$ は、28.3°から31.6°と3.3°の変化にとどまる。ただし、「H-PDLC」パネル3への再生光入射角 $\theta_{in-air}$ が、あまりに大きく（例えば、75°以上）になると、上述の図33のように、S偏光光のみならず、P偏光光の表面反射率も大きくなっていき、これを反射防止膜などで小さく抑えることが難しくなってくる。

【0113】そこで、「H-PDLC」パネル3への再生光入射角 $\theta_{in-air}$ が75°を超えるような場合には、図3（第2の実施の形態）に示すように、カップリングプリズム20を用いることが有効となる。ただし、この場合には、「H-PDLC」パネル3への再生光入射角 $\theta_{in-air}$ と、ホログラム層9への再生光入射角 $\theta_{in-med}$ とが等しくなり、ホログラム層9自体が比較的に広い許容入射角度範囲を持たない場合には、光利用効率が低下してしまう。

【0114】本発明に係る反射型画像表示素子は、このカップリングプリズム20を用いると仮定した場合に、回折光を略々垂直に反射型空間光変調素子に入射させるときに、ベンド角が30°以上となる偏光選択性ホログラム光学素子への入射角、すなわち、30°を最低入射角として規定している。

【0115】高帯域の再生光に対して高い回折効率を維

(17)

特開2002-23107

31

持するためには、図4（第3の実施の形態）に示すように、複数の偏光選択性ホログラム光学素子3R、3G、3Bを積層し、反射型空間光変調素子10を照明する照明光の波長帯域を複数に分け、それぞれの帯域を1つの偏光選択性ホログラム光学素子で回折させるようにする。

【0116】本実施の形態の場合には、3層構造となっているが、これ以上でも、または、2層構成でもよい。また、入射角度範囲の大きい再生光に対して高い回折効率を維持するためには、入射角度の受容範囲の異なる複数の偏光選択性ホログラム光学素子を積層し、それぞれの入射角度範囲を1つの偏光選択性ホログラム光学素子により主に回折させるようにすればよい。

【0117】〔3〕投射型画像表示装置に関する実施の形態（第4の実施の形態）

上述したような偏光選択性ホログラム光学素子及び反射型空間光変調素子を備えた投射型画像表示装置についての実施の形態について説明する。

【0118】本発明の第4の実施の形態として、図5に示すように、反射型空間光変調素子として反射型FLCパネルを用いて、カラー投射型画像表示装置を構成することができる。この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を90°回転させることによりP偏光光に変換して、光利用効率を向上させている。照明光学系21を通過した照明光は、カラーホイール22を通過し、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射する。カラーホイール22は、照明光源20より放射される白色光を、赤色光、緑色光、青色光のスペクトル成分に時分割するもので、これにより、単板の反射型FLCパネル10を用いて、いわゆる「フィールドシーケンシャルカラー手法」により、カラー表示が可能となる。

【0119】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射した照明光は、ここで、P偏光成分のみが回折されて射出角約60°で射出される。S偏光成分は、回折されことなく、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を直進して透過する。補正用偏光選択性ホログラム光学素子23において回折されるP偏光成分を主とする照明光は、続いて、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。

【0120】ここで、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3とは、同一の構成のものを用いており、しかも互いに平行に配置されている。そのため、偏光選択性ホログラム光学素子3への照明光の入射角は、補正用偏光選択性ホログラム光

32

学素子23からの照明光の射出角に等しい。

【0121】これは、以下のような2つの主要なメリットをもたらす。第1に、波長による回折角のばらつきを相殺できるという点であり、第2に、波長による回折効率の入射角度依存性の差異を補正するという点である。

【0122】第1のメリットについて説明する。ホログラムの干渉縞における入射角 $\theta_c$ と回折角 $\theta_r$ とは、次に示す等式により関係づけられる。

$$[\{0123\} (\sin \{\theta_s\} - \sin \{\theta_r\}) / \lambda = (\sin \{\theta_i\} - \sin \{\theta_c\}) / \lambda_c$$

( $\theta_s$ : ホログラム製造時の物体光入射角)

( $\theta_r$ : ホログラム製造時の参照光入射角)

( $\lambda$ : ホログラム製造波長)

( $\lambda_c$ : 再生波長)

すなわち、ある特定の干渉縞を有するホログラムの回折角は、入射光線の波長に依存することになる。そして、干渉縞ピッチ $\Lambda$ が小さいほどその変化率は大きい。なお、干渉縞ピッチ $\Lambda$ は、下記の式に示す関係を有する。

$$[\{0124\} \Lambda = \lambda / |\sin \{\theta_s\} - \sin \{\theta_r\}|$$

例えば、 $\theta_s = 0^\circ$ 、 $\theta_r = 60^\circ$ 、 $\lambda = 550 \text{ nm}$ 、 $\theta_c = 60^\circ$  とすると、 $\lambda_c$  が  $450 \text{ nm}$  から  $650 \text{ nm}$  まで変化すると、回折角 $\theta_r$ は、 $9^\circ$  から  $-9^\circ$  まで変化する。これは、波長により反射型空間光変調素子への照明光入射角が異なることを意味する。

【0125】投射型画像表示装置のような実像結像系の場合、このような照明光入射角の変化による主要な問題の1つに、光利用効率の低下があげられる。つまり、反射型空間光変調素子への照明光が拡散してしまい、投射光学系の集光率が低下してしまうという現象が起こる。また、虚像表示装置の場合には、観察者の随移動に伴い表示画像の色味が変化してしまうという問題につながる。これらの問題は、偏光選択性ホログラム光学素子3の回折許容スペクトル幅を小さくして、波長帯域別に複数の偏光選択性ホログラム光学素子3を用意することで抑制することが可能である。

【0126】ただし、照明光を波長帯域別に限りなく小さく分割することは現実的ではなく、したがって、完全に回折角の波長依存性をなくすことは難しい。そこで、2つの同等の性能を有する偏光選択性ホログラム光学素子3、23を用いてこれを補正することとしたものである。

【0127】偏光選択性ホログラム光学素子3により回折されて反射型空間光変調素子10に入射したS偏光の照明光は、この反射型空間光変調素子10により位相が変調され、再び偏光選択性ホログラム光学素子3を透過し、S偏光光のみを選択的に透過する偏光板24を通して、投射光学系25に入射する。この投射光学系25により、反射型FLCパネル10上に表示される光学像がスクリーン26上に拡大投影される。

【0128】一方、P偏光成分のうち偏光選択性ホログ

(18)

特開2002-23107

33

ラム光学素子3にて回折されない残りの往路の照明光は、そのまま偏光選択性ホログラム光学素子3を通過し、反射型空間光変調素子10のアルミ反射面14にて正反射され、再び図5中のCの方向に射出される。この照明光は、迷光となり、表示画像のコントラスト劣化を招く恐れがあるため、光吸収手段27にてそのエネルギーが吸収される。

\*

$$\sin(\theta_{i-1}) = \lambda c / \lambda (\sin(\theta_s) - \sin(\theta_r)) + \sin(\theta_c)$$

ここで、 $\theta_s = \theta_c = 0^\circ$  とすると、

$$\sin(\theta_{i-1}) = -\lambda c / \lambda \sin(\theta_r) \quad \dots \text{式(1)}$$

すなわち、再生波長 $\lambda c$ が長いほど、 $\theta_{i-1}$ は大きくなる。いま、再生波長 $\lambda$ （例えば赤色）、 $M$ （例えば緑色）、 $S$ （例えば青色）が、 $L > M > S$ の関係を満たすとき、それぞれの回折射出角 $\theta_{i-1L}$ 、 $\theta_{i-1M}$ 、 $\theta_{i-1S}$ は、以下の関係を満たす。

\*

$$\begin{aligned} & (\sin(\theta_s) - \sin(\theta_r)) / \lambda \\ & = (\sin(\theta_{i-2}) - \sin(\theta_{i-1})) / \lambda c \quad \dots \text{式(2)} \end{aligned}$$

式(1)、式(2)より、 $\theta_{i-2} = \theta_s = 0^\circ$  となり、再生波長にかかわらず、反射型空間光変調素子10への照明光入射角を、常に $0^\circ$ とすることが可能となる。

【0131】次に、上述した第2のメリットについて説明する。図7、図8及び図9に、製造波長532nm、物体光入射角 $0^\circ$ 、参照光入射角 $60^\circ$ 、平均屈折率1.52、ホログラム厚5 $\mu\text{m}$ の、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率の入射角度依存性を示す。図7は、再生波長が450nm、図8は、再生波長が550nm、図9は、再生波長が650nmの場合である。

【0132】これらの回折効率の入射角度依存性と再生波長との関係より、回折効率のピークを与える入射角が波長によって異なり、長波長側は入射角度が大きい方が回折効率が高く、短波長側は入射角度が小さい方が回折効率が高くなっていることがわかる。そして、図6からわかるように、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を用いることにより、長波長側の照明光の偏光選択性ホログラム3への入射角は大きく、短波長側は小さくなっている。このことから、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を用いることにより、広い波長帯域において高い回折効率を得られ、高い光利用効率を維持することが可能となる。

【0133】以上のように、偏光選択性ホログラム光学素子3と補正用偏光選択性ホログラム光学素子23とを組み合わせることにより、広い波長帯域の照明光においても、高い効率で反射型空間光変調素子10を同一入射角にて照明することが可能となる。

【0134】ただし、本実施の形態においては、反射型空間光変調素子10に対する主光線の入射角を $0^\circ$ ではなく $\theta_{ob1}$ に設定している。これは前述のように、厚い透過型ホログラムの回折効率は、ベント角がある程度大きくないと高い屈折率が確保できないため、そのベント角を大きく設定するためである。そのため、この $\theta_{ob1}$

34

\*【0129】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23による入射角の補正について、図6を参照して説明する。上述の式より、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23における回折光の射出角 $\theta_{i-1}$ は、下記の式で表される。

$$[0130]$$

$$* \theta_{i-1L} > \theta_{i-1M} > \theta_{i-1S}$$

次に、これを補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と平行に配置された偏光選択性ホログラム光学素子3に適応すると、入射角は、 $\theta_{i-1}$ となるためその射出角 $\theta_{i-2}$ は、下記の式を満たす。

は、入射面内で偏光選択性ホログラム素子3のベント角を大きくする方向に設定される。このとき、この $\theta_{ob1}$ を大きくとりすぎると、反射型空間光変調素子10のコントラストの劣化、投射光学系25の大型化、表示画像の収差の増大などの問題が発生するため、通常は $30^\circ$ 以内にすることが望ましい。

【0135】ただし、投射光学系25を偏心光学系とし、反射型空間光変調素子10からの斜め射出光を有効に利用することにより、表示画像中心を投射光学系25の光軸からずらしながらも、投射光学系25の有効系を小さくすることも可能である。

【0136】また、反対に、偏光選択性ホログラム光学素子の屈折率変調度が十分大きい場合（例えば、0.05以上）には、ベント角 $50^\circ$ 程度でも十分な回折効率が確保できるため、許容波長帯域、許容入射角度を広げるため、 $\theta_{ob1}$ をベント角を小さくする方向に設定する方が有利となる。この場合も、上述した理由から、 $\theta_{ob1}$ の絶対値はあまり大きくすることはできず、 $10^\circ$ 程度が望ましい。

【0137】ベント角大（ $\theta_{ob1} = 10^\circ$ ）の場合と、ベント角小（ $\theta_{ob1} = -10^\circ$ ）の場合について、回折効率の再生波長及び入射角依存性を、図10及び図11に示す。これら図10及び図11より、ベント角小（ $\theta_{ob1} = -10^\circ$ ）の場合、再生波長及び入射角度による回折効率劣化が低減されていることがわかる。

【0138】〔4〕画像表示装置の第5の実施の形態 本発明の第5の実施の形態として、反射型空間光変調素子として反射型TN液晶パネルを用いたカラー投射型画像表示装置について、図12を参照して説明する。

【0139】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変

(19)

特開2002-23107

35

換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、S偏光成分の照明光の偏光方位を90°回転させることによりP偏光光に変換し、光利用効率を向上させている。

【0140】照明光学系21を通過した照明光は、P偏光光を選択的に透過させる偏光板28を通過し、青色用、緑色用、赤色用ダイクロイックミラー29、30、31へ入射する。これらダイクロイックミラー29、30、31は、それらの反射面と照明光の進行方向となす角 $\theta_b$ 、 $\theta_g$ 、 $\theta_r$ が、 $\theta_b < \theta_g < \theta_r$ という関係を有して配置されている。これにより、これらダイクロイックミラー29、30、31は、前述の第4の実施の形態において図5により示した補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と同様の役割を果たす。

【0141】つまり、偏光選択性ホログラム光学素子3への赤色光の入射角度が最も大きく、以下、緑色光、青色光の順となる。偏光選択性ホログラム光学素子3に入射した各色光は、それぞれ各色光用に設けられた3層のホログラム層9r、9g、9bにより、反射型空間光変調素子の対応する色のアルミ画素電極14r、14g、14bに集光される。TN液晶層13を往復した照明光は、位相変調され、そのS偏光成分は偏光選択性ホログラム光学素子3にて回折されることなく透過し、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板24を経て、投射光学系25に入射する。投射光学系25に入射した画像光束は、スクリーン26上に投射される。

【0142】【5】画像表示装置の第6の実施の形態本発明の第6の実施の形態として、図13に示すように、反射型空間光変調素子として3つの反射型反強誘電性液晶パネル10r、10g、10bを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0143】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を90°回転することによりP偏光光に変換し光利用効率を向上させる。

【0144】照明光学系21を通過した照明光は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射し、ここで、P偏光成分のみが回折され射出角約60°で射出される。S偏光光は、回折されることなく補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を直進して透過する。

【0145】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23にて回折されたP偏光成分である照明光は、このP偏光成分を選択的に透過させる偏光板28を透過し、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。このとき、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホ

36

ログラム光学素子3とは、同一の構造のものを用いており、しかも互いに平行に配置されているため、この偏光選択性ホログラム光学素子3への照明光の入射角は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23からの照明光の射出角に等しくなっている。

【0146】偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する主にP偏光成分からなる照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3より略々垂直に射出する方向に回折され、クロスダイクロイックプリズム32に入射し、このクロスダイクロイックプリズム32により、赤色光、緑色光、青色光にそれぞれ分光される。

【0147】分光された各色光は、対応する反射型空間光変調素子10r、10g、10bに入射し、ここで各色光ごとに、また、画素ごとに変調されて反射される。変調された各色光は、再びクロスダイクロイックプリズム32に入射し、再合成された後、再び偏光選択性ホログラム光学素子3へ入射する。このとき、S偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3において回折されずに透過し、さらに、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板24を透過して、投射光学系25に入射する。そして、この投射光学系25により、スクリーン26上に表示画像が結像される。

【0148】【6】画像表示装置の第7の実施の形態本発明の第7の実施の形態として、図14に示すように、反射型空間光変調素子として2つの反射型FLCパネルを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0149】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を90°回転することによりP偏光光に変換し光利用効率を向上させる。

【0150】照明光学系21を通過した照明光は、このP偏光成分を選択的に透過する偏光板28を透過した後、カラーシャッタ22に入射する。このカラーシャッタ22は、照明光源20より放射され直線偏光となされた白色光のうちの特定の波長帯域の偏光方位を90°回転させる機能を有している。したがって、カラーシャッタ22を透過した照明光を偏光検波することにより、部分スペクトル成分に時分割することができる。このような時分割により、単板の反射型FLCパネル10によって「フィールドシーケンシャルカラー手法」によりカラー表示が可能となる（参考論文：「Gray D. Sharp and Kristina M. Johnson, High Brightness Saturated Color Shutter Technology, SID Symposium, Vol. 27, p411(1996)」）。

【0151】本実施の形態においては、このカラーシャ

(20)

特開2002-23107

37

38

ッタ22を、赤色光及び青色光（マゼンタ）、赤色光及び緑色光（黄色）の2つのスペクトルを時分割で透過させるように制御する。すなわち、照明光源20より入射する緑色光と青色光の偏光方向を交互に90°回転させる。カラーシャッタ22を透過した照明光は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射し、ここで、P偏光成分のみが回折されて射出角約60°で射出される。このとき、先程のカラーシャッタ22にてS偏光光となされた緑色光、または、青色光は、回折されることなく交互に補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を直進して透過する。

【0152】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23において回折された主にP偏光成分からなる照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。このとき、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3とは、同一の構成を有しており、しかも互いに平行に配置されているため、偏光選択性ホログラム光学素子3への照明光の入射角は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23からの照明光の射出角に等しくなっている。

【0153】偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する照明光のP偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3より略々垂直に射出するように回折されて、ダイクロイックプリズム34に入射する。ダイクロイックプリズム34に入射した照明光は、赤色光のみが進行方向を90°偏向され、残りの、主に緑色光、青色光の波長帯域の照明光は透過する。分光された2つの色光は、対応する反射型空間光変調素子10r、10g、10bに入射し、これら反射型空間光変調素子10r、10g、10bにおいて、各色光ごとに、また、画素ごとに変調されて反射される。

【0154】ただし、緑色光、青色光については、「フィールドシーケンシャルカラー手法」により、時分割で表示される。緑色光、青色光について時分割表示とし、赤色光について時分割表示としないのは、通常のランプ光源を用いた場合には、眼の視感度を考慮して白バランスをとると、赤色光が最も出力が不足するためである。

【0155】変調された各色光は、再びダイクロイックプリズム34に入射して再合成され、再度偏光選択性ホログラム光学素子3へ入射する。このとき、S偏光成分は回折されずに透過し、さらに、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板24を経て投射光学系25に入射する。そして、この投射光学系25により、スクリーン26上に表示画像が結像される。

【0156】また、図15に示すように、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3との間を硝子プレート20によって充填し、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23及び偏光選択性ホログラム光学素子3のホログラム層の裏面的ベンド角を大きくすることにより、回折効率を向上させることが

できる。

【0157】ただし、このとき、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23及び偏光選択性ホログラム光学素子3において回折効率が生ずる波長帯域、入射角度範囲は減少する。なお、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と硝子プレート20との間、及び、偏光選択性ホログラム光学素子3と硝子プレート20との間は、それぞれ光学的に密着させる必要がある。

【0158】〔7〕画像表示装置の第8の実施の形態  
本発明の第8の実施の形態として、図16に示すように、反射型空間光変調素子として3つの反射型TN垂直配向液晶パネル10r、10g、10bを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0159】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を90°回転することによりP偏光光に変換し光利用効率を向上させる。

【0160】照明光学系21を通過した照明光は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射し、ここで、P偏光成分のみが回折及び反射され、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。照明光のS偏光成分は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23において回折されることなく、直進してこの補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を透過する。

【0161】ここで、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23は、反射型偏光選択性ホログラム光学素子となっている。反射型の場合、透過型に比べて回折波長帯域の許容値が小さいため、照明光源20にはなるべくスペクトルに急峻なピーク値をもつものを用いるか、または、ホログラムを複数の波長帯域ごとに作成し、これを積層して補正用偏光選択性ホログラム光学素子23とすることが効果的である。

【0162】偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する主にP偏光成分からなる照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3より略々垂直に射出するよう回折され、ダイクロイックプリズムブロック35に入射する。このダイクロイックプリズムブロック35は、3つのダイクロイックプリズムからなり、2つの境界面35b、35gを有している。ダイクロイックプリズムブロック35に入射した照明光は、まず、一方の境界面35bに入射し、青色光のみを反射され、この境界面35bを透過した青色を除く光が、他方の境界面35gに入射する。そして、他方の境界面35gにおいて緑色光のみが反射されることにより、照明光は、R（赤色）、G（緑色）、B（青色）の各色に分光される。

【0163】このように分光された各色光は、対応する

(21)

特開2002-23107

39

反射型空間光変調素子10r、10g、10bに入射し、これら反射型空間光変調素子10r、10g、10bにより、各色光ごとに、また、画素ごとに変調されて反射される。変調された各色光は、再びクロスダイクロイックプリズムブロック35に入射し再合成され、再度偏光選択性ホログラム光学素子3へ入射する。このとき、S偏光成分は回折されずに透過し、さらに、S偏光成分を選択的に透過する偏光板24を経て投射光学系25に入射する。そして、この投射光学系25により、スクリーン26上に表示画像が結像される。

【0164】〔8〕画像表示装置の第9の実施の形態本発明の第9の実施の形態として、図17に示すように、反射型空間光変調素子として2つの反射型FLCパネルを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0165】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の矯正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がS偏光光となるように、照明光のP偏光成分の偏光方位を90°回転することによりS偏光光に変換し光利用効率を向上させる。

【0166】照明光学系21を通過した照明光は、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板28を透過し、カラーシャッタ22に入射する。カラーシャッタ22は、照明光源20より放射される白色光を、その部分スペクトル成分に時分割するもので、これにより単板の反射型FLCパネル10で「フィールドシーケンシャルカラー手法」によりカラー表示が可能となる（参考論文：「Gray D. Sharp and Kristina M. Johnson, High Brightness Saturated Color Shutter Technology, SID Symposium, Vol. 27, p411(1996)」）。

【0167】本実施の形態においては、このカラーシャッタ22を、赤色光及び青色光（マゼンタ）と、赤色光及び緑色光（黄色）との2つのスペクトルを時分割で透過させるよう制御する。つまり、入射する緑色光成分と青色光成分の偏光方向を交互に90°回転させてP偏光光とする。カラーシャッタ22を射出した照明光は、矯正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射し、ここで、S偏光成分のみが回折され射出角約70°で射出される。このとき、先程のカラーシャッタ22にてP偏光光となされた緑色光、または、青色光は、矯正用偏光選択性ホログラム光学素子23において回折されることなく直進し、交互に矯正用偏光選択性ホログラム光学素子23を透過する。

【0168】矯正用偏光選択性ホログラム光学素子23にて回折された主にS偏光成分からなる照明光は、この矯正用偏光選択性ホログラム光学素子23に光学的に密着接合された第1のカップリングプリズム37に入射す

40

る。矯正用偏光選択性ホログラム光学素子23から射出した照明光は、第1のカップリングプリズム37と矯正用偏光選択性ホログラム光学素子23のガラス基板36とが略々等しい屈折率を有するガラス材にて作製されているため、これらの接合界面で屈折を生じず、角度を変えることなく第1のカップリングプリズム37に入射する。

【0169】第1のカップリングプリズム37に入射した照明光は、この第1のカップリングプリズム37の光学面38より略々垂直に射出する。そして、この照明光は、カラーセレクト33に入射する。このカラーセレクト33は、入射直線偏光方位をその波長帯域に応じて90°回転させるものである（参考論文：「Gray D. Sharp and J. R. Birge, Retarder Stack Technology for Color Manipulation, SID Symposium, Vol. 30, p1072(1999)」）。

【0170】本実施の形態においては、赤色光は、入射偏光方位（S偏光光）が保存され、青色光及び緑色光の偏光方位は、90°回転されてP偏光光となされる。カラーセレクト33を射出した照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3に光学的に密着接合された第2のカップリングプリズム20に光学面39より入射する。この光学面39は、第1のカップリングプリズム37の光学面38と略平行になされている。したがって、入射照明光は、第2のカップリングプリズム20の光学面39においてほとんど屈折することなく直進し、そのまま偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。

【0171】この偏光選択性ホログラム光学素子3において、S偏光光である赤色光は、回折されることなく第3のカップリングプリズム40を透過し、赤色光用反射型空間光変調素子10rに入射する。一方、P偏光光である青色光及び緑色光は、回折されて約70°進行方向を偏向されて第3のカップリングプリズム40を通過して青緑色光用反射型空間光変調素子10gbに入射する。

【0172】このとき、青色光及び緑色光は、カラーシャッタ22により時分割で交互に送られてくるため、青緑色光用反射型空間光変調素子10gbはこれに同期して制御される。緑色光、青色光について時分割表示とし、赤色光について時分割表示としないのは、通常のランプ光源を用いた場合には、眼の視感度を考慮して白バランスをとると、赤色光が最も出力が不足するためである。

【0173】それぞれの反射型空間光変調素子10b、10gbにて変調された照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3に再入射する。このとき、青緑色光用反射型空間光変調素子10gbからの反射光のうちのS偏光成分は、回折されることなく偏光選択性ホログラム光学素子3より略垂直に射出する。また、赤色光用反射型空間光変調素子10rからの反射光のうちのP偏光成分は、回折されて偏光選択性ホログラム光学素子3より同

(22)

特開2002-23107

41

しく略垂直に射出する。

【0174】これら2つの反射光は、第2のカップリングプリズム20を透過し、この第2のカップリングプリズム20の光学面に接合されたカラーセレクト33bに入射する。このカラーセレクト33bにおいて、青緑色光は、入射偏光方位（S偏光光）が保存され、赤色光の偏光方位は、90°回転されS偏光光となされる。

【0175】これらの照明光は、S偏光光を選択的に透過させる偏光板24を経て、投射光学系25に入射する。そして、投射光学系25により、スクリーン26上に表示画像が結像される。

【0176】一方、青緑色光用反射型空間光変調素子10g bからの反射光のうちのP偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3において回折されて透過し、往路の照明光路を逆行する。また、赤色光用反射型空間光変調素子10rからの反射光のうちのS偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3にて回折されることなく同じく往路の照明光路を逆行する。

【0177】また、本実施の形態は、図18に示すように、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23、第1のカップリングプリズム37、カラーセレクト33、第2のカップリングプリズム20、偏光選択性ホログラム光学素子3、第3のカップリングプリズム40及びカラーセレクト33bを光学的に接合させて構成してもよい。

【0178】〔9〕画像表示装置の第10の実施の形態は、本発明の第10の実施の形態として、図19に示すように、反射型空間光変調素子として反射型FLCパネルを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0179】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を90°回転することによりP偏光光に変換し光利用効率を向上させる。

【0180】照明光学系21を通過した照明光は、カラーホイール22を通過し、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射する。カラーホイール22は、照明光源20より放射される白色光を、赤色光、緑色光、青色光のスペクトル成分に時分割するもので、この時分割により、単板の反射型FLCパネル10で「フィールドシーケンシャルカラー手法」によりカラー表示が可能となる。

【0181】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射角60°で入射した照明光は、ここで、P偏光成分のみが回折され、射出角約0°で射出される。S偏光成分は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23で回折されることなく、直進して補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を透過する。

42

【0182】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23で回折された主にP偏光成分からなる照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3とは、同一の構成のものであり、かつ、これら補正用偏光選択性ホログラム光学素子23及び偏光選択性ホログラム光学素子3に対する照明光の入射角が略々同一になるように配置されている。ただし、照明光（入射側）からみた場合、両者の回折方向（ベンド角）は逆方向となっている。このような配置により、前述のように、波長による回折角のばらつきを相殺できること、波長による回折効率の入射角依存性の差異を補正できることという2つのメリットが得られる。

【0183】なお、この補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3との間は、図19において波線で示すように、カップリングプリズム20にて充填してもよい。ただし、この場合には、ベンド角が異なるため、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3とは、同一のホログラム素子であってはならない。

【0184】ここで、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23への入射角を偏光選択性ホログラム光学素子3への入射角と同様に約60°とするのは、第1の実施の形態において説明したように、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23の回折効率の入射角依存性を低減させるためである。

【0185】偏光選択性ホログラム光学素子3により回折されたP偏光光は、この偏光選択性ホログラム光学素子3より射出角0°で射出し、反射型空間光変調素子10に入射する。反射型空間光変調素子10は、図19中矢印aで示す長手方向が照明光入射角方向と一致するように配置される。これは、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23への回折方向の入射照明光の有効幅を小さくする必要があるため、この有効幅の減少量ができるだけ少なくして光利用効率を高くするためである。

【0186】また、同様の理由から、照明光源20の発光部20aの長手方向は、図19において紙面に垂直な方向となされている。これは、前述のラグランジュヘルムホルツの不変量より、発光部が小さい方が光束径を絞ったときに拡散角が大きくなり、このため、本発明に係る画像表示装置のように、照明光を空間光変調素子に対して斜めに入射させる場合には、その入射方向に一致する方向に発光部の長さを短くすることが光利用効率を上げるために有効となるためである。

【0187】反射型空間光変調素子10により位相が変調されて反射されたS偏光光は、偏光選択性ホログラム光学素子3を透過し、S偏光光のみを選択的に透過する偏光板24を透過して投射光学系25に入射する。この投射光学系25により、反射型FLCパネル10上に表示される光学像がスクリーン26上に表示画像として拡

(23)

特開2002-23107

43

大投影される。

【0188】一方、P偏光成分のうち偏光選択性ホログラム光学素子3にて回折されない往路の残りの照明光は、そのまま偏光選択性ホログラム光学素子3を透過し、反射型空間光変調素子10のアルミ反射面14にて正反射され、再び図19中のCの方向に射出される。この照明光は、迷光となり、表示画像のコントラスト劣化を招く恐れがあるため、光吸収手段27によりそのエネルギーを吸収される。

【0189】(10) 画像表示装置の第11の実施の形態

本発明の第11の実施の形態として、図20に示すように、反射型空間光変調素子として反射型FLCパネルを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0190】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を90°回転することによりP偏光光に変換し光利用効率を向上させる。

【0191】照明光学系21を通過した照明光は、カラーホイール22を通過し、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射する。カラーホイール22は、照明光源20より放射される白色光を、赤色光、緑色光、青色光のスペクトル成分に時分割するもので、この時分割により、単板の反射型FLCパネル10による「フィールドシーケンシャルカラー手法」によりカラー表示が可能となる。

【0192】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23に対し入射角 $\theta_{in23}$ で入射した照明光は、ここで、P偏光成分のみが回折され、射出角 $\theta_{out23}$ で射出される。S偏光成分は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23によって回折されることなく、この補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を透過して直進する。

【0193】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23にて回折される主にP偏光成分からなる照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3に、入射角 $\theta_{in3}$ にて入射する。このとき、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3とは、同一の構造を有し、しかも、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23への入射角 $\theta_{in23}$ 、射出角 $\theta_{out23}$ は、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射角 $\theta_{in3}$ 、射出角 $\theta_{out3}$ とそれぞれ等しくなされている。ただし、照明光からみた場合、両者の回折方向(ベンド角)は逆方向となっている。これより、前述のように、波長による回折角のばらつきを相殺できること、波長による回折効率の入射角度依存性の差異を補正できることという2つのメリットが得られる。

44

【0194】また、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3と反射型空間光変調素子10とは図20に示すように、 $\theta_{holo}$ の開き角を有して配置される。すなわち、偏光選択性ホログラム光学素子3、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23の回折効率の波長及び入射角依存性を低減させるためには、ベンド角を少なくすることが有効であるが、このとき、

(i) 入射角を小さくする。

(ii) 射出角をベンド角が小さくなる方向に大きくとる。

という2つの方法が考えられる。(i)の「入射角を小さくする」という手法の場合、前述のように、ホログラム層への入射角度のばらつきが大きくなり好ましくない。そこで、(ii)の「射出角をベンド角が小さくなる方向に大きくとる」という手法をもちいることが有効となる。

【0195】本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23からの射出角 $\theta_{out3}$ 、 $\theta_{out23}$ を5°乃至20°程度とし、ベンド角を低減させている。このように、入射照明光、偏光選択性ホログラム光学素子3及び補正用偏光選択性ホログラム光学素子23の相対関係を規定した場合において、偏光選択性ホログラム光学素子3からの射出回折光を反射型空間光変調素子10に対して垂直に入射せようとする、図20に示すように、偏光選択性ホログラム光学素子3と反射型空間光変調素子10とは、 $\theta_{holo}$ (= $\theta_{out3}$ )の開き角をとって配置される必要がある。

【0196】このようにして、偏光選択性ホログラム光学素子3により回折されたP偏光光は、反射型空間光変調素子10に対して略々垂直に入射する。反射型空間光変調素子10は、図20中矢印aで示す長手方向が、照明光入射角方向と一致するように配置されている。これは、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23への回折方向の入射照明光の有効幅を小さくする必要があるため、この有効幅の減少量をできるだけ少なくして光利用効率を高くするためである。

【0197】また、同様の理由から、照明光源20の発光部20aの長手方向は、図19において紙面に垂直な方向となされている。これは、前述のラグランジュヘルムホルツの不変量より、発光部が小さい方が光束径を絞ったときに収束角が大きくなり、くいたため、本発明に係る画像表示装置のように、照明光を空間光変調素子に対して斜めに入射させる場合には、その入射方向に一致する方向に発光部の長さを短くすることが光利用効率を上げるために有効となるためである。

【0198】反射型空間光変調素子10により位相が変調されて反射されたS偏光光は、偏光選択性ホログラム光学素子3を透過し、S偏光光のみを選択的に透過する偏光板24を透過して投射光学系25に入射する。こ



(24)

特開2002-23107

45

で、偏光板24は、偏光選択性ホログラム光学素子3を透過したことにより発生する非点収差を補正するために、偏光選択性ホログラム光学素子3の反射型空間光変調素子10に対する傾き角 $\theta_{holo}$ と反対方向に同じ絶対値の傾き角 $\theta_{pol}$ をもって配置される。この偏光板24の傾きにより、変調された照明光における非点収差をキャンセルすることができる。そして、投射光学系25に入射した照明光により、反射型空間光変調素子10上に表示される光学像がスクリーン26上に表示画像として拡大投影される。

【0199】〔11〕虚像表示装置に関する実施の形態（第12の実施の形態）

本発明の第12の実施の形態として、図21に示すように、反射型空間光変調素子として反射型FLCパネルを用いた虚像結像光学系を用いた画像表示装置について説明する。

【0200】この画像表示装置においては、赤色光、緑色光、青色光の3色を順次独立に発光するレンズ付き発光ダイオード光源41より放射される照明光は、P偏光成分を選択的に透過させる偏光板42を透過して、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。この入射光は、偏光選択性ホログラム光学素子3において回折され、略々垂直に反射型FLCパネル10に入射する。

【0201】反射型FLCパネル10にて位相を変調された照明光は、反射型FLCパネル10のアルミ反射面14において反射され、再び偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。このとき、P偏光成分は、再び偏光選択性ホログラム光学素子3によって回折されて発光ダイオード光源41の方向に向かうが、S偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3によって回折されることがなく、そのまま透過する。偏光選択性ホログラム光学素子3を透過したS偏光光は、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板43にて検波されたのち、虚像観察光学系を構成する自由曲面プリズム44に、自由曲面屈折面45より入射する。

【0202】自由曲面プリズム44内に入射した光は、第1の光学面46において全反射され、次いで、第2の自由曲面反射面47にて反射されたのち、第1の光学面46を透過して、観察者の観察領域48に導かれる。このとき、観察領域48を大きくするには、発光ダイオード光源41と偏光板42との間に拡散板を配置するか、または、偏光選択性ホログラム光学素子3において、この偏光選択性ホログラム光学素子3に入射するP偏光成分に対して回折時に拡散作用を起こす干渉縞を予め記録しておいてもよい。

【0203】次に、本発明の第13の実施の形態として、図22に示すように、反射型空間光変調素子として2つの反射型FLCパネルを用いた虚像結像光学系を用いた画像表示装置について説明する。

【0204】この画像表示装置においては、赤色光、緑

46

色光、青色光の3色を順次独立に発光するレンズ付き発光ダイオード光源41より放射された照明光は、P偏光光となる偏光成分を選択的に透過する偏光板42を経て、偏光選択性ホログラム光学素子3へ入射する。本実施の形態においては、偏光選択性ホログラム光学素子3は反射型となっている。この偏光選択性ホログラム光学素子3に入射された照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3において回折され反射されて略々垂直に反射型FLCパネル10に入射する。

10 【0205】反射型FLCパネル10において位相を変調された照明光は、反射型FLCパネル10のアルミ反射面14において反射され、再び偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。このとき、照明光のP偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3において再び回折され反射されて発光ダイオード光源42の方向に向かう。S偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3により回折されることがなく、そのまま偏光選択性ホログラム光学素子3を透過する。

20 【0206】このように偏光選択性ホログラム光学素子3を透過したS偏光光は、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板43にて検波されたのち、虚像観察光学系を構成する自由曲面プリズム44に、自由曲面屈折面45より入射する。

【0207】自由曲面プリズム44内に入射した光は、第1の光学面46において全反射され、次いで、第2の自由曲面反射面47にて反射されたのち、第1の光学面46を透過して、観察者の観察領域48に導かれる。このとき、観察領域48を大きくするには、発光ダイオード光源41と偏光板42との間に拡散板を配置するか、または、偏光選択性ホログラム光学素子3において、この偏光選択性ホログラム光学素子3に入射するP偏光成分に対して回折時に拡散作用を起こす干渉縞を予め記録しておいてもよい。

【0208】

【発明の効果】上述のように、本発明に係る画像表示素子を用いた画像表示装置においては、反射型空間光変調素子の照明手段として、必ずしも偏光ビームスプリッタを使用する必要がないため、装置重量の軽量化、装置サイズの小型化、表示画像のコントラストの改善及び製造コストの低減化が可能となる。

【0209】また、この画像表示素子においては、従来のホログラムカラーフィルターと異なり、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次横断した構造を有する偏光選択性ホログラム光学素子を用いることにより、P偏光光とS偏光光の回折効率の差を充分に大きくすることができ、光利用率及び表示画像のコントラストの改善が可能である。

【0210】さらに、従来のホログラムカラーフィルターと異なり、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次横断した構造を有する偏光選択性ホ

(25)

特開2002-23107

47

ログラム光学素子を用いることにより、P偏光光の回折効率をS偏光光のそれに比べて高くすることができ、ホログラム光学素子に対してP偏光光を入射させることができる。これにより、カップリングプリズムを用いなくとも、ホログラム光学素子のガラス基板における表面反射を抑えることができ、光利用効率及び表示画像のコントラストの改善が可能である。

【0211】そして、この画像表示装置においては、2つの偏光選択性ホログラム光学素子を、反射型空間光変調素子の照明のために用いることにより、偏光選択性ホログラム光学素子における回折角の波長依存性を互いに相殺して均一照明が得られる他、各波長帯域ごとに、入射角による回折効率減少を補正して光利用効率を改善することができる。

【0212】さらに、この画像表示装置においては、偏光選択性ホログラム光学素子を反射型として使用することが可能となること、各色光ごとに用意される複数の反射型空間光変調素子を用いた画像表示装置に適用することができること、「フィールドシーケンシャルカラー方式」の画像表示装置として構成することができることなどの効果が得られる。

【0213】そして、この画像表示装置においては、反射型空間光変調素子と偏光選択性ホログラム光学素子との画素単位のアライメントが不要なために製造コストの低減化が可能であり、また、高い光利用効率が維持されながら、表示画像のコントラストが高く、しかも、薄型化、軽量化、虚像観察光学系を用いて構成することが可能である。

【0214】すなわち、本発明は、照明光の光利用効率が高く、装置の小型化、低コスト化が可能であり、また、表示画像の均一性、高コントラスト性が実現された画像表示素子及び画像表示装置を提供することができるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る画像表示素子の構成を示す縦断面図である。

【図2】本発明に係る画像表示装置の第1の実施の形態の構成を示す縦断面図である。

【図3】本発明に係る画像表示装置の第2の実施の形態の構成を示す縦断面図である。

【図4】本発明に係る画像表示装置の第3の実施の形態の構成を示す縦断面図である。

【図5】本発明に係る画像表示装置の第4の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図6】上記画像表示装置における補正用偏光選択性ホログラム光学素子による入射角の補正の原理を示す側面図である。

【図7】上記画像表示装置における再生波長450nmにおける回折効率の入射角度依存性を示すグラフである。

48

【図8】上記画像表示装置における再生波長550nmにおける回折効率の入射角度依存性を示すグラフである。

【図9】上記画像表示装置における再生波長650nmにおける回折効率の入射角度依存性を示すグラフである。

【図10】ベンド角大( $\theta_{obl}=10^\circ$ )の場合の回折効率の再生波長及び入射角依存性を示すグラフである。

【図11】ベンド角小( $\theta_{obl}=-10^\circ$ )の場合の回折効率の再生波長及び入射角依存性を示すグラフである。

【図12】本発明に係る画像表示装置の第5の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図13】本発明に係る画像表示装置の第6の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図14】本発明に係る画像表示装置の第7の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図15】本発明に係る画像表示装置の第7の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図16】本発明に係る画像表示装置の第8の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図17】本発明に係る画像表示装置の第9の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図18】本発明に係る画像表示装置の第9の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図19】本発明に係る画像表示装置の第10の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図20】本発明に係る画像表示装置の第11の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図21】本発明に係る画像表示装置の第12の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図22】本発明に係る画像表示装置の第13の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図23】従来の画像表示素子(FLC)の構成を示す断面図である。

【図24】反射型空間光変調素子に対応した偏光ビームスプリッタを用いた従来の画像表示装置の構成を示す側面図である。

【図25】ホログラムレンズを用いた従来の画像表示装置の構成を示す断面図である。

【図26】反射型ホログラムの回折効率を示すグラフである。

【図27】光スイッチとしてのホログラム光学素子の応用例を示す断面図である。

【図28】ホログラム光学素子の画像表示装置用反射板としての応用例を示す断面図である。

【図29】ホログラム光学素子の投射型画像表示装置用偏光変換器への応用例を示す断面図である。

【図30】ホログラムの厚さと回折効率との関係を示すグラフである。

(26)

特開2002-23107

49

50

【図31】厚さ6  $\mu\text{m}$  のホログラムにおける回折効率の入射角度依存性を示すグラフである。

【図32】厚さ18  $\mu\text{m}$  のホログラムにおける回折効率の入射角度依存性を示すグラフである。

【図33】ガラスの表面反射率と入射角度との関係を示すグラフである。

【図34】従来のホログラムカラーフィルタにおけるホログラムレンズからの主光線の射出角許容値を示す断面図である。

【図35】偏光ビームスプリッタを用いた従来の画像表示装置

\* 示装置の構成を示す側面図である。

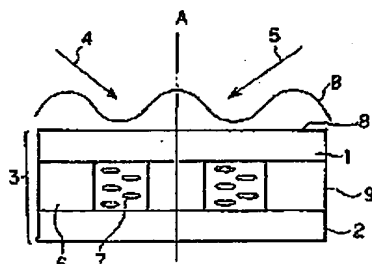
【図36】虚像観察光学系を用いた従来の画像表示装置の構成を示す側面図である。

【図37】虚像観察光学系を用いた従来の画像表示装置の構成の他の例を示す側面図である。

【符号の説明】

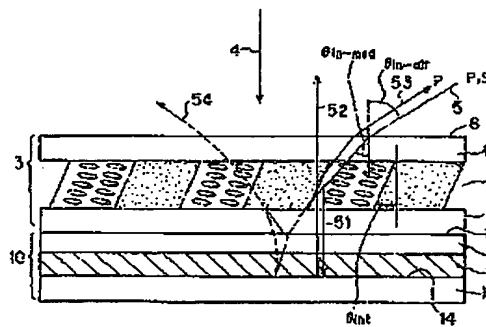
3 「H-PDLC」パネル（偏光選択性ホログラム光学素子）、10 反射型FLC液晶パネル、20 照明光源、25 投射光学系、44 自由曲面プリズム

【図1】



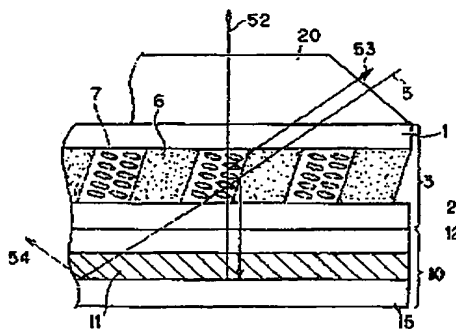
ホログラフィック-PDLCの製造プロセス

【図2】



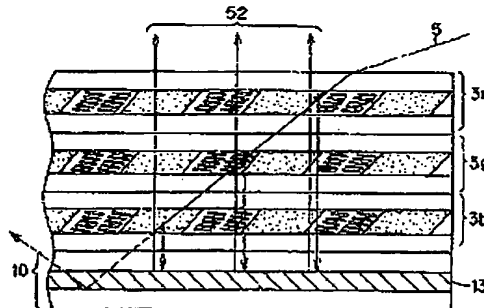
第1の実施例

【図3】



第2の実施例

【図4】

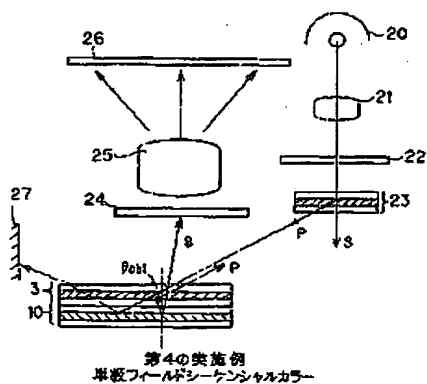


第3の実施例

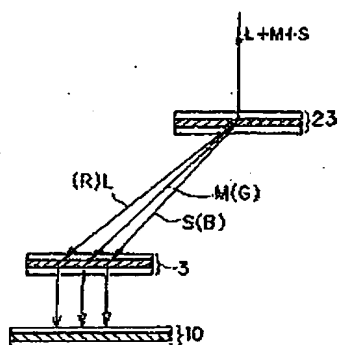
(27)

特開2002-23107

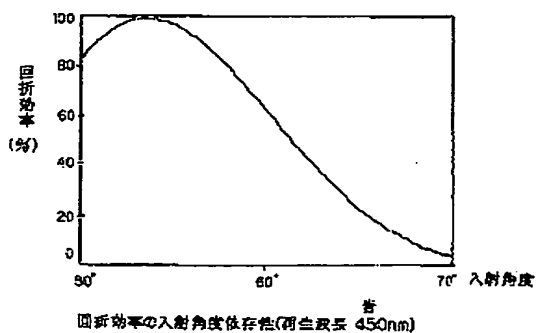
【図5】



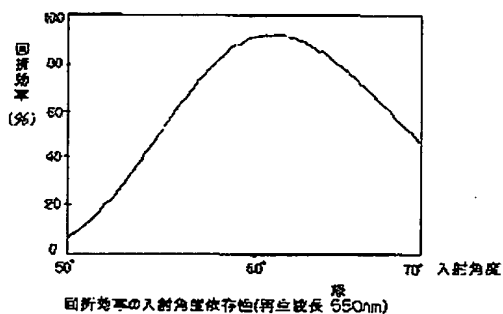
【圖6】



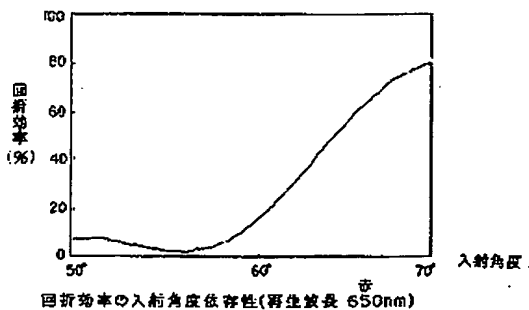
【图7】



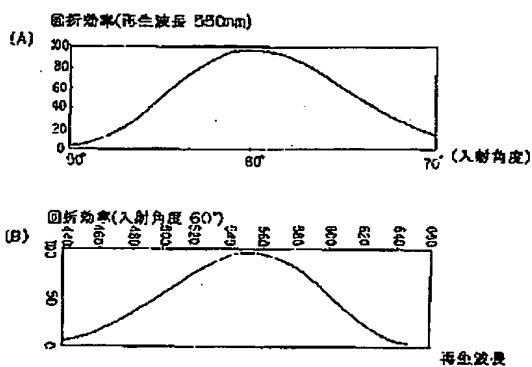
【圖8】



【图9】



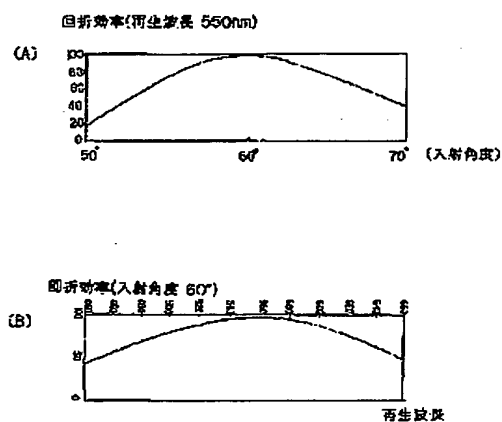
【圖 1 (c)】



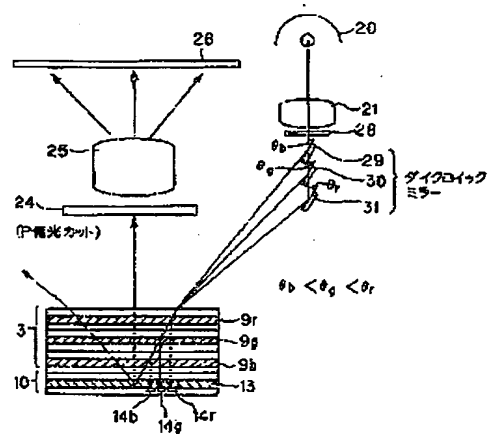
(28)

特開2002-23107

【図11】

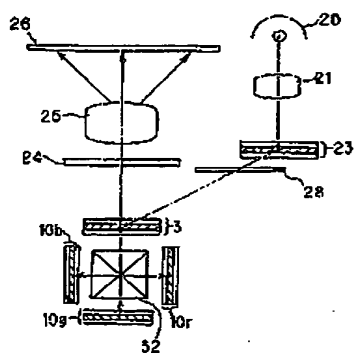


【図12】



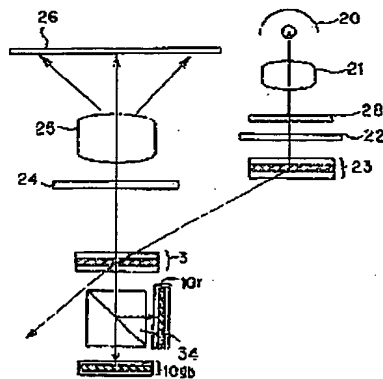
第5の実施例

【図13】



第6の実施例  
(3板式)

【図14】

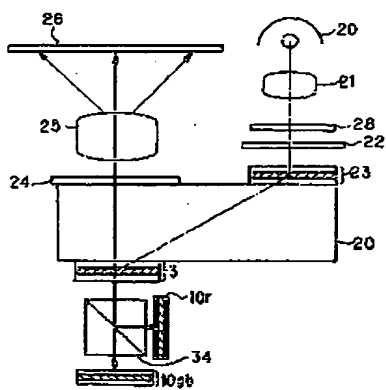


第7の実施例  
(2板式)

(29)

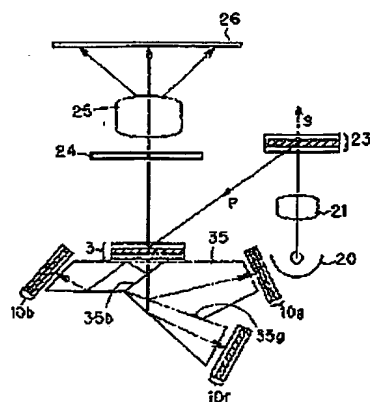
特開2002-23107

【図15】



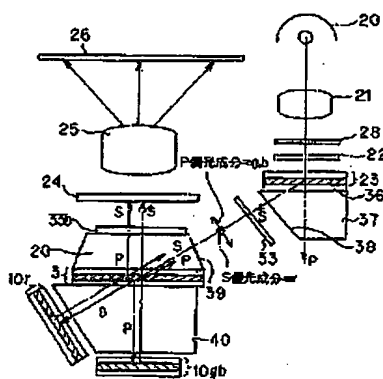
第7の実施例

【図16】



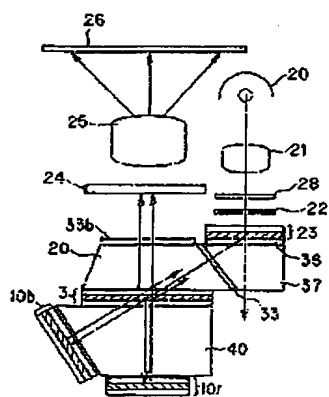
第8の実施例

【図17】



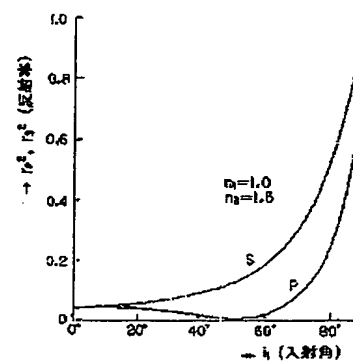
第9の実施例

【図18】



第9の実施例

【図33】

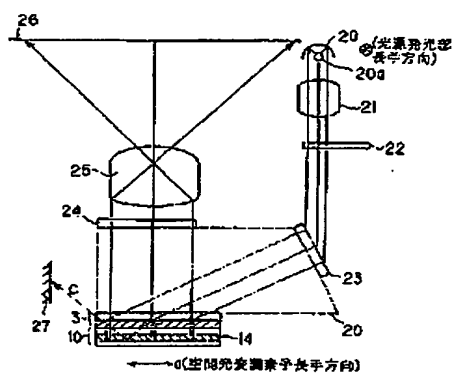


屈折率1.50のガラスの表面反射率

(30)

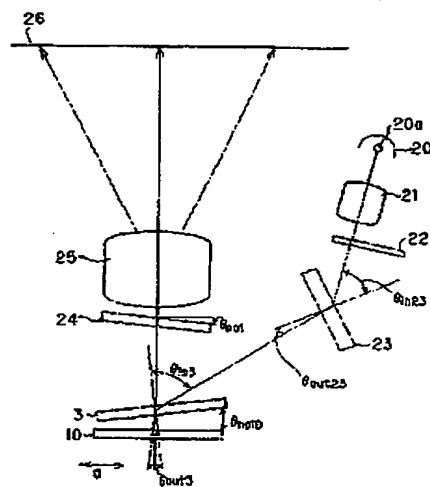
特開2002-23107

【図19】



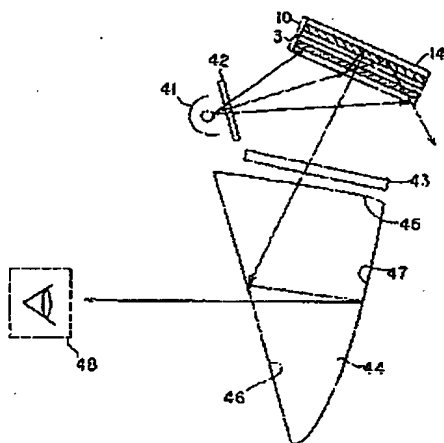
第10の実施例

【図20】



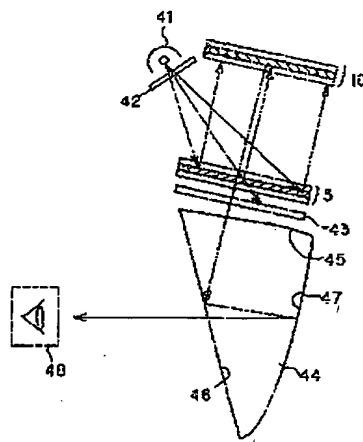
第11の実施例

【図21】



第12の実施例

【図22】

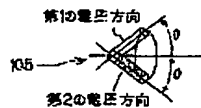
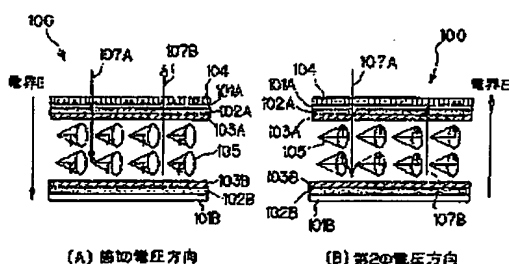


第13の実施例

(31)

特開2002-23107

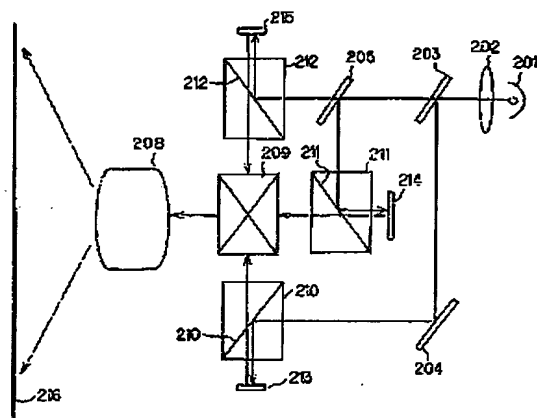
【図23】



(C)

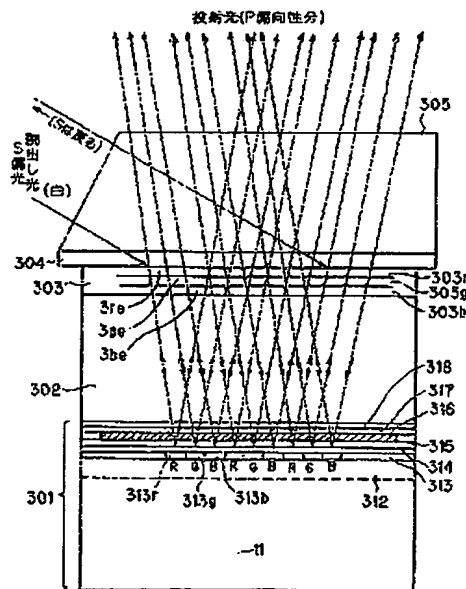
FLCを用いた空間光変調素子の動作

【図24】



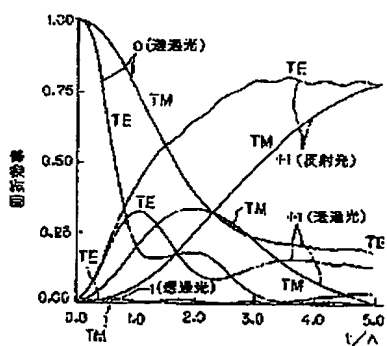
反射型空間光変調素子を用いた  
投影型画像表示装置の従来例

【図25】



従来例

【図26】



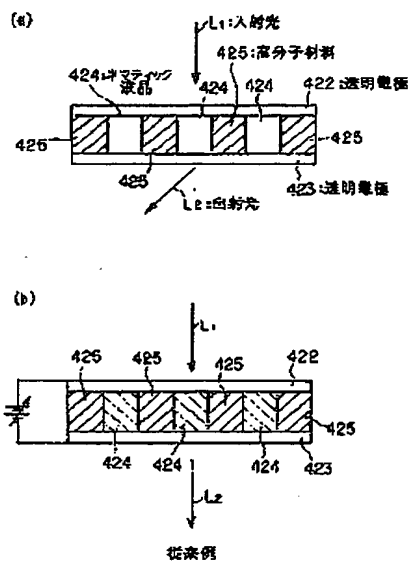
反射型プログラムの回折効率



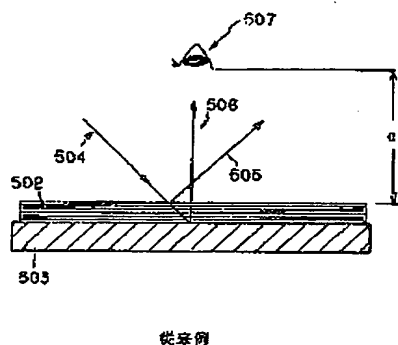
(32)

特開2002-23107

【図27】

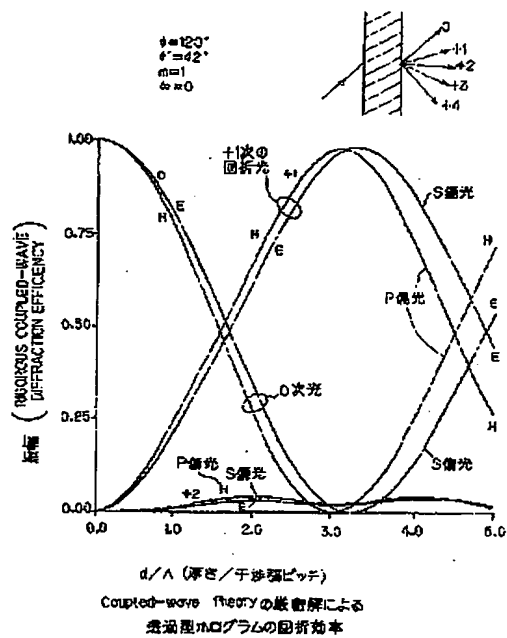


【図28】

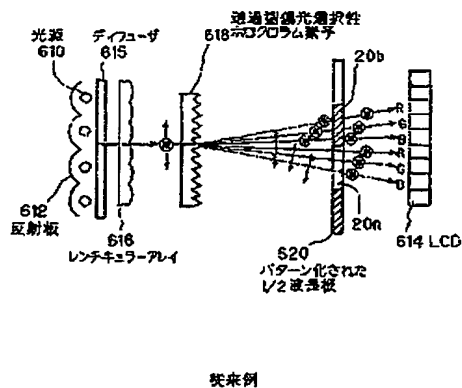


従来例

【図30】



【図29】



(33)

特開2002-23107

【図31】

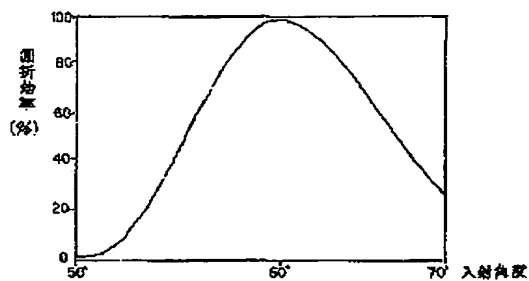


図31の反射率の入射角度依存性(膜厚6μm)

【図32】

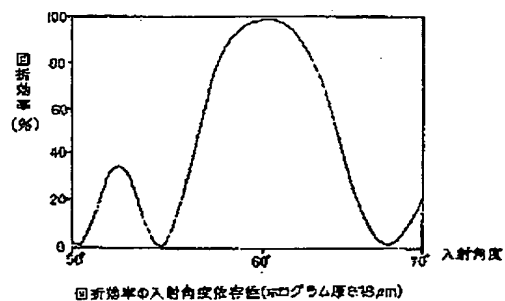
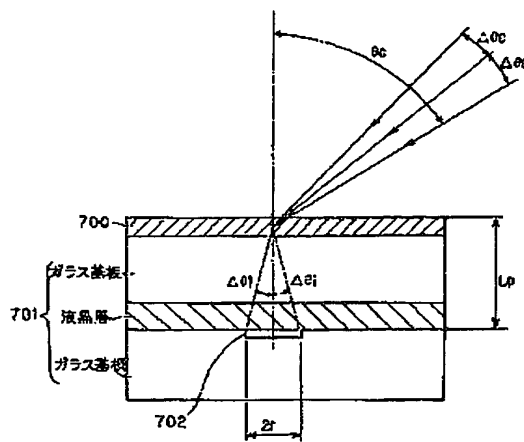


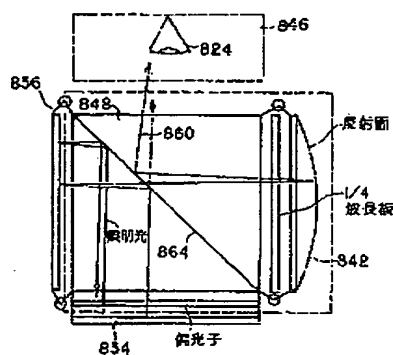
図32の反射率の入射角度依存性(膜厚18μm)

【図35】

【図34】



縦断面

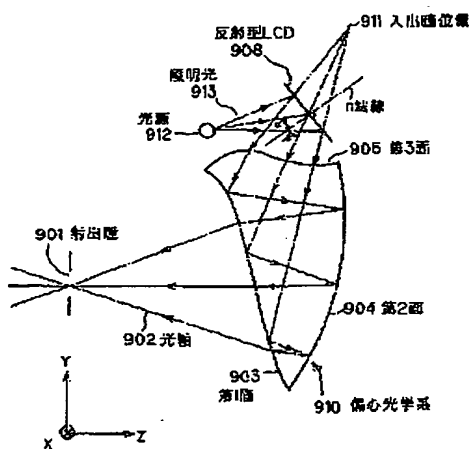


縦断面

(34)

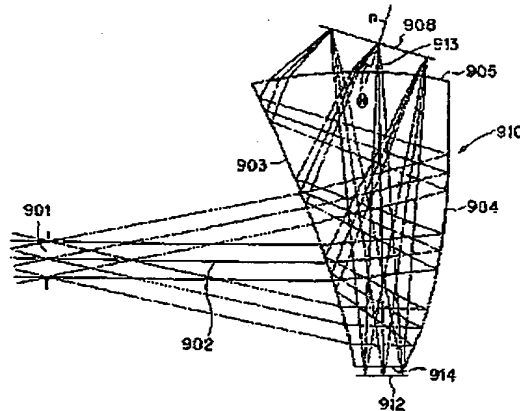
特開2002-23107

【図36】



従来例

【図37】



従来例

【手続補正書】

【提出日】平成13年7月6日(2001. 7. 6)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】画像表示素子及び画像表示装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有し、照明光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、上記偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の偏光状態を調整する反射型空間光変調素子とを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光が入射され、該照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて上記反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させることを特徴とする画像表示素子。

【請求項2】 偏光選択性ホログラム光学素子の2つの領域の一方は、屈折率異方性を有し、他方は屈折率等方

性を有することを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項3】 回折効率が1%以下であることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項4】 偏光選択性ホログラム光学素子は、P偏光光である照明光を入射されることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項5】 偏光選択性ホログラム光学素子は、ホログラム面に対する光線の入射角と回折射出角の差であるベンド角が、 $30^\circ$ 以上となっていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項6】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折させた出射光を、入射面内において、照明光受光面の法線に対してベンド角が大きくなる方向に射出することを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項7】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項8】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項9】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

(35)

特開2002-23107

【請求項10】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多量に重畳されて構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項11】 偏光選択性ホログラム光学素子は、液晶材料を有して構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項12】 偏光選択性ホログラム光学素子と反射型空間光変調素子とは、光学的に密着されて一体的に構成されていることを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項13】 反射型空間光変調素子は、複数の色画素を有し、偏光選択性ホログラム光学素子は、入射照明光を各波長帯域ごとに分光し反射型空間光変調素子のそれぞれ対応する色画素に集光するレンズ作用を有することを特徴とする請求項1記載の画像表示素子。

【請求項14】 照明光を放射する光源と、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次順回した構造を有し入射光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、

上記光源より放射された照明光を上記偏光選択性ホログラム光学素子に入射させる照明光学系と、

上記偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の偏光状態を変調する反射型空間光変調素子と、

上記反射型空間光変調素子及び上記偏光選択性ホログラム光学素子を経た照明光をスクリーン上に投射する投射光学系とを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、上記照明光学系により、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光が入射され、該照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて上記反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させ、

上記投射光学系は、上記偏光選択性ホログラム光学素子の透過光をスクリーン上に投射することを特徴とする画像表示装置。

【請求項15】 偏光選択性ホログラム光学素子の2つの領域の一方は、屈折率異方性を有し、他方は屈折率等方性を有することを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項16】 回折効率が1%以下であることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項17】 光源の発光部は、長方形形状をしており、短辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項

14記載の画像表示装置。

【請求項18】 照明光学系は、照明光のうち、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率が最大となる偏光方位と直交する偏光方位を有する成分について、偏光方位を $90^\circ$ 回転させる偏光変換手段を備えていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項19】 照明光学系は、照明光のうち、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率が最大となる偏光方位を有する成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項20】 光源、または、照明光学系は、照明光の全波長帯域のなかの複数の特定波長帯域のみを時間的に順次透過させる時間順次波長帯域切り替え手段を備えていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項21】 照明光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子と反対符号のベンド角を有する補正用偏光選択性ホログラム光学素子を備えていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項22】 補正用偏光選択性ホログラム光学素子は、偏光選択性ホログラム光学素子と同一素子であることを特徴とする請求項21記載の画像表示装置。

【請求項23】 偏光選択性ホログラム光学素子に光学的に密着し、少なくとも照明光が略垂直に入射する第1の光学面と該反射型空間光変調素子による反射光が略垂直に射出する第2の光学面とを有するカップリングプリズムを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光を、照明光受光面の法線に対して $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で入射されることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項24】 カップリングプリズムは、反射型空間光変調素子による照明光の正反射光が略垂直に入射する光吸収層が設けられた第3の光学面を有していることを特徴とする請求項23記載の画像表示装置。

【請求項25】 投射光学系は、反射型空間光変調素子による変調光のうちの偏光選択性ホログラム光学素子において透過する偏光方位の成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項26】 偏光選択性ホログラム光学素子は、P偏光光である照明光を入射されることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項27】 偏光選択性ホログラム光学素子のベンド角が $30^\circ$ 以上となっていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項28】 偏光選択性ホログラム光学素子のホログラム面と反射型空間光変調素子の反射面とは、光学的に平行ではない位置関係となっていることを特徴とする

(35)

特開2002-23107

請求項14記載の画像表示装置。

【請求項29】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項30】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項31】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項32】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項33】 偏光選択性ホログラム光学素子は、液晶材料を有することを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項34】 偏光選択性ホログラム光学素子と反射型空間光変調素子とは、光学的に密着されて一体的に構成されていることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項35】 反射型空間光変調素子は、長方形形状をしており、長辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項36】 反射型空間光変調素子は、複数の色画素を有し、偏光選択性ホログラム光学素子は、入射照明光を各波長帯域ごとに分光し反射型空間光変調素子のそれぞれ対応する色画素に集光するレンズ作用を有することを特徴とする請求項14記載の画像表示装置。

【請求項37】 照明光を放射する光源と、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次繰り返し構成を有し入射光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、

上記照明光を互いに異なる複数の波長帯域成分に分離する色分離手段と、

互いに異なる複数の波長帯域成分に分離された照明光を上記偏光選択性ホログラム光学素子に入射させる照明光学系と、

上記偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光のうちの互いに異なる複数の波長帯域成分の偏光状態をそれぞれ変調する複数の反射型空間光変調素子と、上記複数の反射型空間光変調素子によりそれぞれ変調された互いに異なる波長帯域の照明光を合成する色合成手段と、

上記色合成手段を経た照明光をスクリーン上に投射する

投射光学系とを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、上記照明光学系により、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光が入射され、該照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて上記反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させ、

上記投射光学系は、上記偏光選択性ホログラム光学素子を透過して上記色合成手段を経た照明光をスクリーン上に投射することを特徴とする画像表示装置。

【請求項38】 偏光選択性ホログラム光学素子の2つの領域の一方は、屈折率異方性を有し、他方は屈折率等方性を有することを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項39】 回折効率が1%以下であることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項40】 光源の発光部は、長方形形状をしており、短辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項41】 色分離手段と色合成手段とは、1つのクロスダイクロイックプリズムを共用することを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項42】 照明光学系は、照明光のうち、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率が最大となる偏光方位と直交する偏光方位を有する成分について、偏光方位を $90^\circ$ 回転させる偏光変換手段を備えていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項43】 照明光学系は、照明光のうち、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率が最大となる偏光方位を有する成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項44】 光源、または、照明光学系は、照明光の全波長帯域のなかの複数の特定波長帯域のみを時間的に順次透過させる時間順次波長帯域切り替え手段を備えていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項45】 照明光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子と反対符号のベンド角を有する補正用偏光選択性ホログラム光学素子を備えていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項46】 補正用偏光選択性ホログラム光学素子は、偏光選択性ホログラム光学素子と同一素子であることを特徴とする請求項45記載の画像表示装置。

【請求項47】 偏光選択性ホログラム光学素子に光学

(37)

特開2002-23107

的に密着し、少なくとも照明光が略垂直に入射する第1の光学面と該反射型空間光変調素子による反射光が略垂直に射出する第2の光学面とを有するカップリングプリズムを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光を、照明光受光面の法線に対して $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で入射されることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項48】 カップリングプリズムは、反射型空間光変調素子による照明光の正反射光が略垂直に入射する光吸収層が設けられた第3の光学面を有していることを特徴とする請求項47記載の画像表示装置。

【請求項49】 投射光学系は、反射型空間光変調素子による変調光のうちの偏光選択性ホログラム光学素子において透過する偏光方位の成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項50】 偏光選択性ホログラム光学素子は、P偏光である照明光を入射されることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項51】 偏光選択性ホログラム光学素子のベンド角が $30^\circ$ 以上となっていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項52】 偏光選択性ホログラム光学素子のホログラム面と反射型空間光変調素子の反射面とは、光学的に平行ではない位置関係となっていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項53】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項54】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項55】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項56】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項57】 偏光選択性ホログラム光学素子は、液晶材料を有することを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項58】 反射型空間光変調素子は、長方形形状をしており、長辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項37記載の画像表示装置。

【請求項59】 照明光を放射する光源と、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有し入射光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、

上記照明光の互いに異なる第1及び第2の波長帯域成分の偏光状態を互いに直交する直線偏光成分として分離させる波長帯域別偏光分離手段と、

第1及び第2の波長帯域成分に分離された照明光を上記偏光選択性ホログラム光学素子に入射させる照明光学系と、

偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の第1の波長帯域成分の偏光状態を変調する第1の反射型空間光変調素子と、

偏光選択性ホログラム光学素子を透過した照明光の第2の波長帯域成分の偏光状態を変調する第2の反射型空間光変調素子と、

上記各反射型空間光変調素子を経た照明光をスクリーン上に投射する投射光学系とを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、上記照明光学系により、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光が入射され、P偏光成分もしくはS偏光成分である上記第1の波長帯域成分を回折させて上記第1の反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、該第1の反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち該第1の波長帯域成分の1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分の70%以上を透過させ、上記第2の波長帯域成分を70%以上透過させて上記第2の反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、該第2の反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち該第2の波長帯域成分の1回目の入射において透過する偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分を回折させ、上記投射光学系は、第1の反射型空間光変調素子及び上記偏光選択性ホログラム光学素子を経た第1の波長帯域成分の照明光と、第2の反射型空間光変調素子及び上記偏光選択性ホログラム光学素子を経た第2の波長帯域成分の照明光とを、スクリーン上に投射することを特徴とする画像表示装置。

【請求項60】 偏光選択性ホログラム光学素子の2つの領域の一方は、屈折率異方性を有し、他方は屈折率等方性を有することを特徴とする請求項59記載の画像表示装置。

【請求項61】 回折効率が1%以下であることを特徴とする請求項59記載の画像表示装置。

【請求項62】 光源の発光部は、長方形形状をしており、短辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項59記載の画像表示装置。

(38)

特開2002-23107

【請求項63】 照明光学系は、照明光のうちの互いに直交する偏光成分のいずれか一方について、偏光方位を90°回転させる偏光変換手段を備えていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項64】 光源、または、照明光学系は、照明光の全波長帯域のなかの複数の特定波長帯域のみを時間的に順次透過させる時間順次波長帯域切り替え手段を備えていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項65】 照明光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子と反射符号のベンド角を有する補正用偏光選択性ホログラム光学素子を備えていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項66】 補正用偏光選択性ホログラム光学素子は、偏光選択性ホログラム光学素子と同一素子であることを特徴とする請求項65記載の画像表示装置。

【請求項67】 偏光選択性ホログラム光学素子に光学的に密着し、少なくとも照明光が略垂直に入射する第1の光学面と該反射型空間光変調素子による反射光が略垂直に射出する第2の光学面とを有するカップリングブリズムを備え、上記偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光を、照明光受光面の法線に対して60°以上90°未満の入射角で入射されることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項68】 カップリングブリズムは、反射型空間光変調素子による照明光の正反射光が略垂直に入射する光吸収層が設けられた第3の光学面を有していることを特徴とする請求項67記載の画像表示装置。

【請求項69】 投射光学系は、反射型空間光変調素子による変調光のうちの偏光選択性ホログラム光学素子において透過する偏光方位の成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項70】 偏光選択性ホログラム光学素子は、ホログラム面に対する光線の入射角と回折射出角の差であるベンド角が、30°以上となっていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項71】 偏光選択性ホログラム光学素子のホログラム面と反射型空間光変調素子の反射面とは、光学的に平行ではない位置関係となっていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項72】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項73】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項74】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項75】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項76】 偏光選択性ホログラム光学素子は、液晶材料を有して構成されていることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項77】 反射型空間光変調素子は、長方形形状をしており、長辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項5記載の画像表示装置。

【請求項78】 照明光を放射する光源と、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有し入射光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、

上記照明光を上記偏光選択性ホログラム光学素子に入射させる照明光学系と、

上記偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の偏光状態を変調する反射型空間光変調素子と、

上記反射型空間光変調素子を経た照明光を観察者の瞳に導く虚像観察光学系とを備え、

上記偏光選択性ホログラム光学素子は、上記照明光学系により、照明光受光面の法線に対して30°以上90°未満の入射角で照明光が入射され、該照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて上記反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させ、

上記虚像観察光学系は、上記偏光選択性ホログラム光学素子の透過光を観察者の瞳に導くことを特徴とする画像表示装置。

【請求項79】 偏光選択性ホログラム光学素子の2つの領域の一方は、屈折率異方性を有し、他方は屈折率等方性を有することを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項80】 回折効率が1%以下であることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項81】 光源の発光部は、長方形形状をしており、短辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項78記載の画像表示装置。

【請求項82】 照明光学系は、照明光のうち、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率が最大となる偏光方

(39)

特開2002-23107

位の成分について、偏光方位を $90^\circ$ 回転させる偏光変換手段を備えていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項83】 光源、または、照明光学系は、照明光の全波長帯域のなかの複数の特定波長帯域のみを時間的に順次透過させる時間順次波長帯域切り替え手段を備えていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項84】 照明光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子と反対符号のベンド角を有する補正用偏光選択性ホログラム光学素子を備えていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項85】 補正用偏光選択性ホログラム光学素子は、偏光選択性ホログラム光学素子と同一素子であることを特徴とする請求項84記載の画像表示装置。

【請求項86】 偏光選択性ホログラム光学素子に光学的に密着し、少なくとも照明光が略垂直に入射する第1の光学面と該反射型空間光変調素子による反射光が略垂直に射出する第2の光学面とを有するカップリングプリズムを備え、上記偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光を、照明光受光面の法線に対して $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で入射されることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項87】 カップリングプリズムは、反射型空間光変調素子による照明光の正反射光が略垂直に入射する光吸収層が設けられた第3の光学面を有していることを特徴とする請求項86記載の画像表示装置。

【請求項88】 虚像観察光学系は、反射型空間光変調素子による変調光のうちの偏光選択性ホログラム光学素子において透過する偏光方位の成分を選択的に透過させる偏光選択手段を備えていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項89】 偏光選択性ホログラム光学素子は、P偏光である照明光を入射されることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項90】 偏光選択性ホログラム光学素子は、ホログラム面に対する光線の入射角と回折射出角の差であるベンド角が、 $30^\circ$ 以上となっていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項91】 偏光選択性ホログラム光学素子のホログラム面と反射型空間光変調素子の反射面とは、光学的に平行ではない位置関係となっていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項92】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項93】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラム層により構成されていることを特徴とする請求項

7記載の画像表示装置。

【請求項94】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の波長依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項95】 偏光選択性ホログラム光学素子は、回折効率の再生光入射角依存性の互いに異なる複数のホログラムが1つのホログラム層に多重されて構成されていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項96】 偏光選択性ホログラム光学素子は、液晶材料を有して構成されていることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【請求項97】 反射型空間光変調素子は、長方形形状をしており、長辺方向が、偏光選択性ホログラム光学素子への照明光の入射方向に一致していることを特徴とする請求項7記載の画像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、反射型空間光変調素子を用いた画像表示素子及び画像表示装置に関し、特に、装置の軽量化、製造の低コスト化、表示画像の高コントラスト化を図ることに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、以下に述べるように、種々の画像表示素子及びこれら画像表示素子を用いて構成された画像表示装置が提案されている。

【0003】〔1〕空間光変調素子

空間光変調素子(Spatial Light Modulator: SLM)は、映像信号が入力され、その信号に応じた画像データに基づいて、各画素毎に入射光を変調するように構成されたデバイスである。空間光変調素子を透過する光を変調する透過型と、空間光変調素子において反射される光を変調する反射型とがある。

【0004】反射型空間光変調素子は、液晶、デジタルマイクロミラー等を使用して構成されている。特に、液晶を使用して構成したものは、液晶型空間光変調素子と称される。

【0005】液晶には、旋光(偏光導波)モード型、複屈折モード型、光散乱モード型、光吸収モード型等がある。一般的に使用される液晶としては、旋光(偏光導波)モード型のツイステッドネマティック(TN)動作モードを使用するTN液晶、複屈折動作モード型のスーパーツイステッドネマティック(STN)動作モードを使用するSTN液晶、及び、強誘電性液晶(FLC)動作モードを使用するFLC型の液晶等がある。

【0006】これら偏光状態を変調する反射型空間光変調素子には、強誘電性液晶空間光変調素子の他、TN液晶を用いた垂直配向液晶空間光変調素子、反強誘電性液晶空間光変調素子、TN液晶を用いた複屈折モードの空間光変調素子などがある。



(40)

特開2002-23107

【0007】〔2〕反射型F L C空間光変調素子  
偏光状態を可変する反射型空間光変調素子のうち、反射型F L C空間光変調素子について構造と動作原理を説明する。

【0008】反射型F L C空間光変調素子は、図23に示すように、一対の電極部とその間に挿入された液晶材料105とを有して構成されている。図中上側の電極部は、ガラス基板101Aと、その内側（下側）の透明電極102Aと、その内側（下側）の配向膜103Aとを有している。図中下側の電極部は、シリコン基板101Bと、その内側（上側）のアルミ電極102Bと、その内側（上側）の配向膜103Bとを有している。アルミ電極102Bは、反射膜としても機能する。上側の電極部のガラス基板101Aの外側（上側）には、偏光子104が配置されている。

【0009】図23中の（A）は、透明電極102A及びアルミ電極102Bに第1の方向の電圧が印加された第1の電圧方向状態を示し、図23中の（B）は、透明電極102A及びアルミ電極102Bに第1の方向とは反対方向の第2の方向の電圧が印加された第2の電圧方向状態を示している。

【0010】また、液晶材料105は、図23中の（C）に示すように、第1の電圧方向状態では、入射偏光に対して複屈折効果を示さないが、第2の電圧方向状態では、入射偏光に対して複屈折効果を示す。

【0011】偏光子104を介して入射した偏光107Aは、図23中の（A）に示す第1の電圧方向状態では、液晶材料105が複屈折効果を示さないことから、この液晶材料105を透過し、偏波状態を変えずに、アルミ電極（反射膜）102Bに到達する。そして、アルミ電極（反射膜）102Bにおいて反射された偏光107Bは、再び液晶材料105を透過し、偏波状態を変えずに、偏光子104に到達する。すなわち、入射光の偏波状態と同一の偏波状態の光が偏光子104に戻ってくるようになる。したがって、アルミ電極（反射膜）102Bにおいて反射された反射光が、偏光子104を介して、出射光として得られることになる。

【0012】一方、図23（B）に示す第2の電圧方向状態では、偏光子104を介して入射した偏光107Aは、液晶材料105を透過することによって複屈折効果を受け、直線偏光だったものが円偏光に変化する。円偏光107Bは、アルミ電極（反射膜）102Bにおいて反射され、この反射によって偏光の回転方向を反対方向となされる。回転方向が反対となった円偏光107Bは、再び液晶材料105を透過することによって複屈折効果を受け、直線偏光となる。このときの直線偏光は、偏光子104の偏光方向と直交しており、したがって、偏光子104を通過しない。

【0013】すなわち、この反射型F L C空間光変調素子においては、第1の電圧方向状態の部分において「白

表示」となり、第2の電圧方向状態の部分において「黒表示」となる。

【0014】〔3〕反射型空間光変調素子を用いた投射型画像表示装置

一般的な反射型空間光変調素子、例えば、反射型T N液晶パネルを有して構成された投射型の画像表示装置においては、図24に示すように、ランプ光源201より射出した照明光は、光束断面形状の矯正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系202に入射する。この照明光学系202には、図示しないP-S偏光変換器を設けてもよい。このP-S偏光変換器は、無偏光状態の照明光を、P偏光、または、S偏光のどちらか一方の偏光に、50%以上の効率で揃える機能を有する光学ブロックである。

【0015】ここに示した例では、照明光学系202を通過した照明光は、紙面に垂直な方向に電気ベクトルが振動する偏光状態、つまり、赤色光を反射するダイクロイックミラー203の反射面に対してS偏光となっている。すなわち、照明光学系202から射出された照明光は、赤色光を反射するダイクロイックミラー203により、赤色成分のみが進行方向を90°偏向され、続いてこの赤色光は、ミラー204で反射されて、赤色光用の偏光ビームスプリッタ（以下、「PBS」という。）210に入射する。

【0016】PBS210に入射した赤色光は、このPBS210の誘電体膜210aにてS偏向成分のみが反射され、入射偏光として、赤色光用の反射型T N液晶パネル213に入射する。この赤色光用の反射型T N液晶パネル213にて、偏光状態を可変されて反射された照明光は、再びPBS210の誘電体膜210aに入射し、ここでP偏光のみが透過するよう検波されて、偏光変調が輝度変調に変換される。輝度変調に変換された照明光は、クロスダイクロイックプリズム209に入射する。

【0017】一方、赤色光を反射するダイクロイックミラー203を透過した照明光は、続いて配置された緑色光を反射するダイクロイックミラー205に入射する。このダイクロイックミラー205では、緑色光のみが反射され、残りの青色光成分は、透過する。分離された緑色光及び青色光は、それぞれ前述の赤色光の場合と同様に、PBS211、212により、S偏光のみが反射されて、緑色光用の反射型T N液晶パネル214、青色光用の反射型T N液晶パネル215にそれぞれ入射する。

【0018】緑色光用の反射型T N液晶パネル214、青色光用の反射型T N液晶パネル215にて偏光状態を可変されて反射された照明光は、再びPBS211、212の誘電体膜211a、212aに入射し、ここでP偏光のみが透過するよう検波されて、偏光変調が輝度変調に変換される。輝度変調に変換された射出光は、クロスダイクロイックプリズム209に入射する。

(41)

特開2002-23107

【0019】この画像表示装置においては、表示画像に応じて、各色光用の反射型TN液晶パネル213、214、215においてそれぞれ変調された赤色光、緑色光及び青色光は、クロスダイクロイックプリズム209において合成されて、投射光学系208に入射し、スクリーン216上に結像される。

【0020】〔4〕反射型空間光変調素子用照明装置  
反射型空間光変調素子用の照明装置として、図25及び図26に示すように、特開平9-189809号公報に記載された照明装置がある。この照明装置においては、図示しない照明光源より放射された読み出し光が、図25に示すように、カップリングプリズム305、ガラス基板304を経て、ホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bに入射する。

【0021】ここで、303r、303g、303bは、それぞれ赤色用、緑色用、青色用の体積ホログラムレンズであり、予めレーザ露光により干渉縞が焼き付けられた略々1画素大の面積を有する各色光用微小レンズが積層された構造となっている。1画素大とは、R（赤色）、G（緑色）、B（青色）の各1画素の計3画素が組になったものである。これらホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bは、読み出し光のスペクトルの赤色光、緑色光、青色光を、反射型液晶パネルのカバーガラス302、共通電極318、配向膜317、液晶層316、配向膜315及び誘電体ミラー膜314を通して、画素電極層313上のそれぞれ対応する色画素電極313r、313g、313bに集光させる。

【0022】そして、このホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bは、入射光の偏光特性に関する依存性を有している。すなわち、ホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bへの入射光のうち、S偏光が主に回折され、P偏光の回折効率はS偏光よりも低くなっている。これは、「coupled-wave theory」の厳密解により、例えば、反射型の厚いホログラムの場合には、ホログラムの厚さ $l$ とホログラム内の干渉縞のピッチ $\Lambda$ とにより決まる値 $(l/\Lambda)$ が1乃至5の場合、図26に示すように、TE（S偏光）、TM（P偏光）の回折効率には差異が生じ、S偏光はP偏光に比べて最大45%程度大きくなるためである（参考論文：M. G. Moharam and T. K. Gaylord: Rigorous coupled-wave analysis of planar grating diffraction. J. Opt. Soc. Am. 71, 811-818 (1977). M. G. Moharam and T. K. Gaylord: Rigorous coupled-wave analysis of grating diffraction E-mode polarization and loss vs. J. Opt. Soc. Am. 73, 451-455 (1983)）。

【0023】ホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bに対して斜めに入射した読み出し光のうち、S偏光成分の光が主に回折されて液晶層316に垂直に入射し、この照明光のうち偏光方向が90°変調さ

れて反射された光（P偏光成分）は、上述した現象により、回折効率が低いためにほとんど回折作用を受けずに、ホログラムカラーフィルタ303r、303g、303bから垂直に射出する。

【0024】そして、誘電体ミラー膜314により反射された照明光は、図示しない投射レンズに入射され、この投射レンズによって、スクリーン上に画像を結像する。

【0025】〔5〕偏光選択性ホログラム光学素子  
偏光選択性ホログラム光学素子を実現する手法はいくつかある。例えば、USP5,161,039において公開されているように、光硬化性樹脂、または、熱硬化性樹脂と液晶材料とを混合した混合材料を、ガラスプレートの間に挟み込んで封止して構成したホログラム光学素子がある。

【0026】これは、次のような手順により作製される。まず、上述の混合材料を封入したパネル上において、レーザ光を干渉させる。これによって発生する干渉縞は、明部にはフォトンが多く存在し、暗部にはフォトンが少ないことによって形成されている。フォトンのエネルギーが高いところ、すなわち干渉縞の明部においては、光エネルギー、または、熱エネルギーにより、樹脂が硬化し凝集する。この結果として、干渉縞の暗部には液晶材料が残存した状態で、樹脂層と液晶層との2つの領域が形成される。

【0027】このようにして構成された偏光選択性ホログラム光学素子の動作原理について、以下に説明する。上述のようにして形成した2つの領域のうち、樹脂層は光学的に等方であるが、液晶層は、異方性、すなわち複屈折性を有している。また、樹脂層の屈折率 $n_1$ と液晶層の常光線屈折率 $n_o$ は、おおよそ等しくなっている。このため、このホログラム光学素子に入射する光のなかで、偏光方向が液晶層の常光線にあたる光線にとっては、樹脂層と液晶層との間の屈折率差が極わずかとなり、回折現象はほとんど現れない。一方、偏光方向が液晶層の常光線に直交する方向の偏光成分については、樹脂層の屈折率 $n_1$ と液晶層の異常光線屈折率 $n_e$ とが異なるため、周期的な屈折率変調が与えられ、回折効果が生ずる。

【0028】また、近年は、光重合を起こすモノマーと液晶分子とを混合し、ホログラフィックな手法によって干渉縞を形成するホログラフィック高分子分散液晶（holographically-formed polymer dispersed liquid crystals、以下「H-PDLC」という。）の研究も盛んである。

【0029】これは、1980年半ばに発見された光誘起相分離「PDLC」から派生した技術である（参考論文：Crawford G.P. and Zumer S., in Liquid Crystals in Complex Geometries, Utor and Francis, London (1996)）。この「H-PDLC」について、作製手

(42)

特開2002-23107

法と動作原理について以下に説明する。

【0030】まず、液晶分子、モノマー（プレポリマー）、増感色素、反応開始剤などを混合した材料を、ガラスプレートの間に挟み込んで封止する。これを、レーザ光により形成した干渉縞にさらす。すると、干渉縞の明部においては、モノマーが光重合を開始してポリマー化する。このため、干渉縞の明部と暗部とにおいて、モノマーの濃度分布が発生し、暗部から明部へのモノマーの移動が起こる。結果的に、ポリマー濃度に言いた明部と、液晶分子が豊富な暗部という相分離による周期構造ができる。次の段階としては、液晶分子がポリマー相に直交するように配列する。この現象のメカニズムは現在のところ解明されていないが、様々な関連の研究がおこなわれている（例えば、「C. C. Bowley, A. K. Fontecchio, and G. P. Crawford, Proc. SID XXX, 958(1999)」）。

【0031】その後、紫外線照射を行ない、定着プロセスを行う。以上のようにして作成されたホログラム光学素子は、前述のUSP 5, 161, 039にて開示されているホログラム光学素子と同様に、ポリマー層の屈折率と液晶層の常光線屈折率とがほぼ等しく、ポリマー層の屈折率と液晶層の異常光線屈折率とが異なるため、偏光選択性ホログラム光学素子として機能する。

【0032】〔6〕ホログラム光学素子の応用技術  
次に、ホログラム光学素子の従来の応用例について述べる。応用例としては、光スイッチ、画像表示装置用反射板、投射型画像表示装置用偏光変換器などがある。以下、これらについて説明する。

【0033】〔6-1〕光スイッチ  
光スイッチとしてのホログラム光学素子の応用例を、図27を参照して説明する。このホログラム光学素子は、例えば、特開平5-173196号公報に記載されているように、図27中の（a）に示すように、高分子材料425からなる領域と正のネマティック液晶材料（屈折率異方体の長軸が液晶分子の長軸と一致しているネマティック液晶材料）424からなる領域とが交互に積層された状態の周期構造を持つホログラム層を、透明電極422、423を有するガラスプレートによって挟み込んだ構造となっている。

【0034】このホログラム光学素子は、図27中の（a）に示すように、透明電極に電圧をかけない場合には、ネマティック液晶材料（液晶分子）424は、高分子材料425に対して垂直となるよう配向しているため、前述のように、ネマティック液晶材料424に対して異常光線となるような偏光方位の入射光については、周期的な屈折率変動により回折効果が得られる。

【0035】一方、図27中の（b）に示すように、透明電極422、423間に電圧を印可し、ネマティック液晶材料（液晶分子）424の長軸を高分子材料425に対して平行とさせた場合には、上述の図27中の

（a）においてネマティック液晶材料424に対して異常光線となっていた偏光方位の入射光は、該ネマティック液晶材料424に対して常光線となり、高分子材料425との間に屈折率差は生じないので、回折現象は発生しない。

【0036】このホログラム光学素子は、このような原理により、印可電圧を制御することにより、光スイッチとして機能させることができる。

【0037】〔6-2〕画像表示装置用反射板  
また、ホログラム光学素子の画像表示装置用反射板としての応用例としては、例えば、特開平9-138396号公報に記載されているように、図28に示すように、外界から直視用反射型液晶パネル502に入射する光線504を、ホログラム反射板503により正反射方向とは異なる方位506に反射させることにより、観察者の瞳507に直視用反射型液晶パネル502の表面反射光505を入射させることを防止して、コントラストの良好な画像表示を行おうとするものである。なお、この場合のホログラムは、偏光性ホログラムである必要はない。

【0038】〔6-3〕投射型画像表示装置用偏光変換器

ホログラム光学素子の投射型画像表示装置用偏光変換器への応用例においては、例えば、特開平8-234143号公報に記載されているように、図29に示すように、光源610から放射される照明光は、アルミ蒸着などが施された反射板612により一方向に略平行光束として射出される。そして、照明光は、デیفューザ615を通過して拡散された後、レンチキュラーアレイ616に入射される。これは、LCD（液晶ディスプレイ）614に照射される照明光の強度むらを低減し、かつ、レンチキュラーアレイ616の矩形変換機能などにより、照明効率をあげるためである。

【0039】そして、照明光は、透過型偏光選択性ホログラム光学素子618に入射する。ここで、上述のような偏光選択性ホログラム光学素子618の機能により、P偏光、S偏光の各成分を射出角度により分離する。次に、照明光は、パターン化された1/2波長板アレイ620に入射する。照明光は、この1/2波長板アレイ620において、P偏光成分、S偏光成分のうち、LCD614の入射偏光方位に対して直交している偏光成分が、この1/2波長板アレイ620のパターン化された1/2波長板部分を通過し、偏光方位を90°変換される。

【0040】このホログラム光学素子は、このようにして、光源610より放射される照明光の利用効率を向上させようとするものである。

【0041】

【発明が解決しようとする課題】上述したような画像表示素子及び画像表示装置について、本発明が解決しよう

(43)

特開2002-23107

とする課題を以下に示す。

【0042】(1) まず、図24に示した反射型空間光変調素子を用いた投射型の画像表示装置のように、反射型空間光変調素子を照明するために偏光ビームスプリッタ(以下「PBS」という。)を用いた場合には、このPBSは、少なくとも反射型空間光変調素子の画像表示部の長辺よりも大きな長さの辺を有する立方体形状となるため、反射型空間光変調素子と投射光学系との距離、すなわち、投射光学系のバックフォーカスを短くすることができない。投射光学系は、バックフォーカスが長くなると、Fナンバーを小さくすること、すなわち、明るいレンズとすることが困難となる。したがって、この画像表示装置においては、光源から発せられる照明光の利用効率が低い。

【0043】また、この画像表示装置においては、PBSを使用していることにより、装置構成の小型化が困難であり、また、このPBSがガラス製であるために、装置の軽量化が困難である。さらに、このPBSは、複屈折及び熱歪みの少ない良質なガラス材により作製しなければならず、また、P偏光とS偏光との分離のために誘電体多層膜を用いているため、高価な部品であり、画像表示装置全体の製造コストの低廉化を困難としている。また、このPBSは、偏光分離特性の入射波長依存性及び入射角度依存性が大きいため、このPBSを用いて構成された画像表示装置においては、高コントラスト、高均一性、高色再現性を有する画像の表示を行うことが困難である。

【0044】(2) 上述した課題を解決する一つの手段としては、図25に示したような、PBSを使用しない反射型空間光変調素子用照明装置が提案されている。しかしながら、この図25に示す画像表示装置においては、以下に示すような問題がある。すなわち、反射型空間光変調素子のウィンドウ面(入射射出面)側に設けられたホログラム光学素子303が、偏光選択性ホログラム光学素子ではなく、偏光依存性ホログラム素子であるため、光利用効率が低い。

【0045】これは、このホログラム光学素子が、屈折率変動の周期構造を構成する層に複屈折性を有する層を有していないために、P偏光、S偏光のうちどちらかの回折効率を0とすることが不可能であることによる。

【0046】また、この画像表示装置においては、画像表示のための照明光として使われるべきP偏光の回折効率をなるべく低く抑え、回折によって再び照明光源の方向に戻らないようにするために、ホログラム光学素子により回折されるS偏光照明光を反射型空間光変調素子に対して垂直方向から傾きをもって入射させ、P偏光に変換された反射光のホログラム光学素子への再入射角度を1回目の入射角度と異なる入射角度とすることにより、回折条件に台致しない状態とする手法が提案されている。

【0047】ところが、この場合、反射型空間光変調素子からの反射光が垂直方向に対して傾いて射出されてテレスントリック性が崩れるため、通常の共軸投射光学系においては、効率の低下を防止するため、光学系のイメージサークルを大きくする必要が生じる。投射光学系のイメージサークルを大きくすることは、装置の大型化、高コスト化を招来することとなる。また、通常の反射型空間光変調素子においては、光線入射角度が垂直方向からずれると、コントラストが劣化する場合が多いので、この画像表示装置においては、高コントラストの画像表示が行えないこととなる。

【0048】そして、これらの問題以前に、この画像表示装置においては、P偏光成分を回折条件に台致しない状態とすることは非常に困難であるという問題がある。すなわち、この画像表示装置においては、ホログラムカラーフィルタのホログラムレンズ中心と、反射型空間光変調素子の画素電極の中心とを、ホログラムレンズの大きさの0.5程度ずらすようになっている。この場合、各ホログラムレンズの主光線の反射型空間光変調素子の画素電極への入射角 $\theta_{in}$ は、

$$\theta_{in} = \text{ArcTan} \{ r / L_p \}$$

( $r$ : ホログラムレンズの半径)

( $L_p$ : ホログラムレンズと反射型空間光変調素子のアルミ画素電極との間の厚さ方向の距離)であり、いま $L_p = 0.7 \text{ mm}$ (カバーガラス厚を $0.7 \text{ mm}$ と仮定)、 $r = 10 \mu\text{m}$ (R、G、Bを合わせた1画素のサイズを $20 \mu\text{m}$ と仮定)とすると、 $\theta_{in}$ は、

$$\theta_{in} = \text{ArcTan} \{ r / L_p \} = 0.82^\circ$$

となる。これは、ホログラムカラーフィルタに入射する照明光の広がり角( $\pm 10^\circ$ 程度)に比較してわずかであり、P偏光とS偏光の角度差が、 $1.64^\circ (= 0.82 \times 2)$ と小さい場合、これらを入射角度により分離することは非常に困難である。

【0049】仮に、ホログラムカラーフィルタの回折許容角度の範囲が $1^\circ$ 乃至 $2^\circ$ であるとする、偏光分離特性は向上するが、照明光の広がり角 $\pm 10^\circ$ のうち実際に回折され有効に使用できる光量は、非常に少なくなってしまう、現実的ではない。

【0050】また、ホログラム光学素子の偏光依存性を利用するためには、S偏光が入射光(すなわち、回折光)となるように設定する必要があるため、照明光の利用効率の低下及び表示画像のコントラストの低下を招く。そして、これら照明光の利用効率の低下や表示画像のコントラストの低下を抑制するためには、そのための追加の部材や光学素子が必要となり、装置全体の製造コスト増加、重量増加を招く。

【0051】これは、以下の理由による。すなわち、図30に示すように、ホログラムの厚さを0から次第に厚くしていく過程において十分な偏光依存性が得られる最初の状態においては、S偏光に対する回折効率が大きな

(44)

特開2002-23107

り、P偏光に対する回折効率は小となっている。この後、ホログラムの厚さdを大きくしていくことにより、逆に、P偏光に対する回折効率が大きくなり、S偏光に対する回折効率を小さくすることも可能である。

【0052】しかしながら、透過型ホログラムの回折効率の波長依存性、入射角度依存性は、ホログラムの厚さが増すとともに高くなる。つまり、ホログラム露光時のレーザの所定の波長、所定の入射角からのずれの許容量（回折効率が確保できる範囲）が小さくなってしまい、光利用効率が低下してしまうという問題がある。

【0053】図31及び図32は、物体光入射角 $0^\circ$ 、参照光入射角 $60^\circ$ 、ホログラムの平均屈折率1.52、ホログラム層の屈折率変動0.05、ホログラム層の厚さ $5\mu\text{m}$ 、露光波長 $532\text{nm}$ の条件で作製されたホログラム光学素子を、再生波長 $532\text{nm}$ で読み出した場合の回折効率の入射角度依存性を示したものである。厚さ $6\mu\text{m}$ のもの（図31）と、厚さ $18\mu\text{m}$ のもの（図32）とについて計算した結果である。なお、ここでは、入射偏光は、S偏光を仮定している。以上より、実質上、入射偏光はS偏光とする必要があることがわかる。

【0054】ところで、屈折率が小さい媒体から屈折率が大きい媒体に光が進行する場合、その表面反射率には、図33に示すように、偏光依存性がある。このような偏光依存性により、空気中で屈折率が1.5であるガラスに、P偏光及びS偏光が入射した場合の表面反射率は、常に、S偏光の方が大きい。また、入射角が、 $\tan \theta = n$ （ $n = 1.5$ ）を満たす角度、すなわち、ブリュースター角（この場合は $56.3^\circ$ ）のときには、P偏光の反射率は0となる。このとき、S偏光の反射率は、15%程度となる。

【0055】これは、ホログラム光学素子のガラス基板に、斜め方向から光線を入射（off-axis入射）させる場合、P偏光を入射させる方が、光の利用効率がよいことを意味する。上述のホログラム光学素子では、S偏光を入射させなければならないので、図25に示すように、カップリングプリズム305を用いることで効率の低下を回避している。しかし、このようなカップリングプリズムを用いることは、部品点数の増加、装置の重量増加、高コスト化を招来する。また、カップリングプリズムを用いても、表面反射率を0とすることはできない。したがって、迷光の発生や、表示画像のコントラストの劣化を確実に防止することはできない。

【0056】さらに、カップリングプリズムを用いると、照明手段からホログラム層への光線の入射面角は、照明手段から射出される光線面角そのものとなる。照明手段から射出される光線面角は、典型的なプロジェクター光学系の場合には、 $\pm 10^\circ$ 程度となっており、この範囲内でホログラム光学素子の回折効率を高い値で均一に維持することは容易ではない。

【0057】また、次式に示すラグランジュ-ヘルムホルツの不変量にて示されるように、ランプ光源からの照明光をある面積の画像表示素子に照射しようとして集光すると、その入射角度（ $u'$ ）は、画像表示素子の大きさ（ $y'$ ）に反比例して小さくなる。

【0058】 $y \nu u = y' n' u'$ （ラグランジュ-ヘルムホルツの不変量）

（ $y$ ：光軸からの像高）

（ $n$ ：媒質の屈折率）

（ $u$ ：光線の傾角）

上式は、積（ $y \nu u$ ）なる値が、光学系のどの面においても、不変であることを示している。つまり、左辺の積 $y \nu u$ が有限の値をとる限り、画像表示素子を小型化すると、画像表示素子への入射角はさらに大きくなってしまふ。これは、高効率のホログラム光学素子を実現するうえで一層不利な要因となる。図31に示したように、回折効率は、そのピーク値を与える入射角度から $+10^\circ$ ずれると25%に、 $-10^\circ$ ずれるとほぼ0%に低下してしまうことがわかる。

【0059】また、上述の画像表示装置においては、ホログラム光学素子を常にカラーフィルタとして用いている。そのため、この画像表示装置においては、ホログラム光学素子に略々画素の面積に等しい大きさの微小レンズを作成し、これら微小レンズを液晶表示素子の各画素に対して正確に位置合わせをする工程が必要であり、製造の困難性及びコスト増が招来されることとなっている。

【0060】さらに、上述の画像表示装置においては、いわゆる「フィールドシーケンシャルカラー手法」及び色光別に反射型画像表示素子を複数用いる装置構成に対応することができない。

【0061】また、上述のホログラムカラーフィルタを用いた画像表示装置においては、入射光について各色光ごとに分光及び集光をしなければならぬため、表示画像の色再現性や高精細化と、照明光の利用効率とは、トレードオフの関係になる。

【0062】この関係について以下に説明する。図34に示すように、ホログラムカラーフィルタ700と反射型空間光変調素子701の画素電極702との間の距離を $L_p$ 、1色画素電極のサイズを $2r$ とし、該1つの色画素上に照明光が収束するためのホログラムレンズからの主光線の射出角許容値 $\Delta \theta_i$ を求めてみる。

【0063】 $\Delta \theta_i = \text{ArcTan} [r/L_p]$

$L_p = 0.7\text{mm}$ 、 $r = \pm 5\mu\text{m}$ とすると、 $\Delta \theta_i = \pm 0.4^\circ$ となる。

【0064】ここで、ホログラムの干渉縞による入射角 $\theta_c$ と回折射出角 $\theta_i$ は、次に示す等式により関係づけられる。

$$\{\sin \{\theta_s\} - \sin \{\theta_r\}\} / \lambda = \{\sin \{\theta_i\} - \sin \{\theta_c\}\} / \lambda_c$$

(45)

特開2002-23107

( $\theta_s$ : ホログラム製造時の物体光入射角)

( $\theta_r$ : ホログラム製造時の参照光入射角)

( $\lambda$ : ホログラム製造波長)

( $\lambda_c$ : 再生波長)

これより、いま  $\theta_s = 0^\circ$ 、 $\theta_r = 60^\circ$ 、 $\lambda = 550$  nm、 $\lambda_c = 550$  nm、 $\theta_i = \pm 0.4^\circ$  とすると、 $\theta_c = 60 \pm 0.8^\circ$  となり、照明光束のホログラムカラーフィルタへの入射角度許容範囲は非常に狭いことがわかる。また、 $\theta_s = 0^\circ$ 、 $\theta_r = 60^\circ$ 、 $\lambda = 550$  nm、 $\theta_c = 60^\circ$ 、 $\theta_i = \pm 0.4^\circ$  とすると、 $\Delta\lambda_c = 550 \pm 4.5$  nm となり、照明光のホログラムカラーフィルタへの入射波長許容範囲は非常に狭いことがわかる。

【0065】以上のことから、ホログラムカラーフィルタに入射される照明光は、高い平行度と狭い波長帯域が要求されることになり、通常のランプ光源を使用する場合には、発光部が有限(1mm程度)の大きさを有すること及び発光波長帯域がブロードであることの2点より、光利用効率が著しく低下することとなる。逆に、光利用効率を向上させようとする、画素サイズを大きくするか、隣接する色画素への漏れ光を許容するといった手段しかなく、前者においては表示画像の精細度、後者については色純度、色再現性が、それぞれ低下することになる。

【0066】そして、上述の画像表示装置においては、ホログラム光学素子を反射型として使うことができない。これは、図26に示すように、ホログラム光学素子を反射型で用いて、P偏光とS偏光とで回折効率の差が、例えば、30%以上となるようにするには、 $d/\Lambda$  ( $d$ : ホログラムの厚さ、 $\Lambda$ : 干渉縞のピッチ)が1.0乃至3.0程度の値となる必要がある(参考論文 M. G. Moharam and T. K. Gaylord: Rigorous coupled-wave analysis of planar grating diffraction, J. Opt. Soc. Am. 71, 811-818 (1977) からの引用)。

【0067】ここで、

$$\Lambda = \lambda / [2 \sin \{ (\theta_s - \theta_r) / 2 \}]$$

( $\theta_s$ : 物体光の入射角)

( $\theta_r$ : 参照光の入射角)

であるから、P偏光、S偏光のどちらかが垂直入射の場合、反射型ホログラムとなるためには、 $(\theta_s - \theta_r)$ の最小値は $90^\circ$ となる。このとき、

$$[2 \sin \{ (\theta_s - \theta_r) / 2 \}]$$

は、最小値1.41をとる。 $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ とすると、このとき $\Lambda$ は、最大値 $0.35 \mu\text{m}$ となり、 $d/\Lambda = 1.0$ 乃至 $3.0$ を満たすホログラムの厚さ $d$ は、最大でも $1 \mu\text{m}$ となる。これほど薄いホログラム層を作製することは、非常に困難である。

【0068】上述したような従来より提案されている種々のホログラム光学素子の応用技術において、照明光を斜めに入射することにより反射型空間光変調素子を有効

率で照明できる応用技術はなかった。

【0069】次に、反射型空間光変調素子を用いた虚像表示光学系には、USP5,596,451において公開されているように、図35に示すように、立方体状の偏光ビームスプリッタ848の構成面付近に反射型空間光変調素子836、照明光源834、反射鏡842を配置した構成がある。

【0070】ところが、この光学系においては、図35において明らかなように、照明光の一部860が偏光ビームスプリッタ848によって、反射型空間光変調素子836に到達せずに、直接観察者の観察領域846に達してしまい、この照明光がノイズとして観察者の瞳824に入射することにより、反射型空間光変調素子836が表示する画像情報のコントラストが低下してしまうという本質的な問題がある。

【0071】また、この光学系では、光学系全体が立方体状の形状となるため、厚さが大きくなる。また、偏光ビームスプリッタの誘電体膜864の性能を上げれば製造コストが高くなってしまい、逆に、該誘電体膜の性能が低いと、誘電体膜の偏光反射率や透過率の入射角度依存性、波長依存性により、特に、瞳の移動に伴って画像の均一性が低下するという問題がある。

【0072】これを改善するために、特開平11-125791号公報に記載されている画像表示装置においては、図36に示すように、反射型空間光変調素子908及び自由曲面プリズム910を用いて虚像表示光学系を構成している。

【0073】この画像表示装置においては、図36に示すように、反射型空間光変調素子908に対して、光源912からの照明光を直接入射させ、この反射光を自由曲面プリズム910に第3面905より入射させ、第1面903での反射、第2面904での反射、第1面903の透過を経て、瞳901に到達させて、虚像表示を行っている。この光学系の問題点としては、反射型空間光変調素子908に入射する照明光の入射角が大きくなってしまい、反射型空間光変調素子908自体の透過度が低下し、表示画像のコントラストが劣化するということがある。

【0074】また、図37に示すように、自由曲面プリズム910内を通して光源912より放射される照明光を反射型空間光変調素子908に入射させ、この反射光を自由曲面プリズム910に第3面905より入射させ、第1面903での反射、第2面904での反射、第1面903の透過を経て、瞳901に到達させて、虚像表示を行う光学系の場合には、主に2つの問題がある。

【0075】第1の問題は、反射型空間光変調素子908が偏光変調型(位相変調型)の空間光変調素子である場合、反射型空間光変調素子908に入射される照明光は、特定の偏光方位を有する直線偏光でなくてはならない。ところが、自由曲面プリズム910は、プラスティ

(45)

特開2002-23107

ック材料にて射出成形で製造されるため、内部に複屈折を有する。このため、直線偏光光を自由曲面プリズム910に入射させても偏光状態が保存されず、表示画像のコントラストが劣化するという問題が生ずる。これは、偏光板を反射型空間光変調素子908と自由曲面プリズム910の第3の面(屈折面)905との間に配置することにより、見かけ上回復できるが、このとき、表示モードが「ノーマリーホワイト」となり、やはり表示画像のコントラストが劣化する要因となる。

【0076】第2の問題は、照明光が接眼光学系である自由曲面プリズム910に入射されることに伴うもので、該照明光が、自由曲面プリズム910内部で、各光学面903、904、905で内部反射を起こし、迷光を発生させるということである。この迷光の一部は、観察者の瞳901に到達するため、やはり表示画像のコントラストの劣化の要因となる。

【0077】このように、従来から提案されている種々の画像表示装置においては、ハーミラーを用いた照明光学系においては、装置の小型化が困難であり、また、照明光の利用効率が低く、偏光ビームスプリッターを用いた照明光学系においては、装置の小型化が困難であり、また、表示画像の均一性が低く、製造コストが高く、空間光変調素子を直接照明する照明光学系及びプラスチック光学部材を通して照明する照明光学系においては、表示画像のコントラストの低下という問題がある。

【0078】そこで、本発明は、上述の事情に鑑みて提案されるものであって、照明光の光利用効率が高く、装置の小型化、低コスト化が可能であり、また、表示画像の均一性、高コントラスト性が実現された画像表示素子及び画像表示装置を提供しようとするものである。

【0079】

【課題を解決するための手段】上述の課題を解決するため、本発明に係る画像表示素子は、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有し照明光を回折させる偏光選択性ホログラム光学素子と、偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の偏光状態を変調する反射型空間光変調素子とを備えている。

【0080】そして、この画像表示素子においては、偏光選択性ホログラム光学素子が、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光を入射され、照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させることを特徴とするものである。

【0081】そして、本発明に係る画像表示装置は、上

述の本発明に係る画像表示素子と、照明光を放射する光源と、この光源より放射された照明光を画像表示素子の偏光選択性ホログラム光学素子に入射させる照明光学系と、画像表示素子の反射型空間光変調素子及び偏光選択性ホログラム光学素子を経た照明光をスクリーン上に投射する投射光学系とを備えている。

【0082】この画像表示装置においては、偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光学系により、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光を入射され、照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させ、投射光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子の透過光をスクリーン上に投射することを特徴とするものである。

【0083】また、本発明に係る画像表示装置は、上述の画像表示装置において、照明光を互いに異なる複数の波長帯域成分に分離する色分離手段を設け、照明光学系を、互いに異なる複数の波長帯域成分に分離された照明光を偏光選択性ホログラム光学素子に入射させるものとし、反射型空間光変調素子を複数として、偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光のうちの互いに異なる複数の波長帯域成分の偏光状態をそれぞれ変調するものとし、複数の反射型空間光変調素子によりそれぞれ変調された互いに異なる波長帯域の照明光を合成する色合成手段を設け、投射光学系を、色合成手段を経た照明光をスクリーン上に投射するものとしたものである。そして、この画像表示装置は、投射光学系が、偏光選択性ホログラム光学素子を透過して色合成手段を経た照明光をスクリーン上に投射することを特徴とするものである。

【0084】さらに、本発明に係る画像表示装置は、上述の画像表示装置において、照明光の互いに異なる第1及び第2の波長帯域成分の偏光状態を互いに直交する直線偏光成分として分離させる波長帯域別偏光分離手段を設け、照明光学系を、第1及び第2の波長帯域成分に分離された照明光を偏光選択性ホログラム光学素子に入射させるものとし、第1及び第2の反射型空間光変調素子を設けてこれらを偏光選択性ホログラム光学素子により回折された照明光の第1及び第2の波長帯域成分の偏光状態を対応して変調するものとし、投射光学系を、各反射型空間光変調素子を経た照明光をスクリーン上に投射するものとしたものである。そして、この画像表示装置は、投射光学系が、第1の反射型空間光変調素子及び偏光選択性ホログラム光学素子を経た第1の波長帯域成分の照明光と、第2の反射型空間光変調素子及び偏光選択性ホログラム光学素子を経た第2の波長帯域成分の照明

(47)

特開2002-23107

光とを、スクリーン上に投射することを特徴とするものである。

【0085】そして、本発明に係る画像表示装置は、上述の画像表示装置において、投射光学系に代えて、反射型空間光変調素子を経た照明光を観察者の瞳に導く虚像観察光学系を設け、この虚像観察光学系は、偏光選択性ホログラム光学素子の透過光を観察者の瞳に導くものとしたことを特徴とするものである。

【0086】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明する。

【0087】〔1〕偏光選択性ホログラム光学素子を用いた反射型画像表示素子

本発明に係る画像表示素子として、高分子分散液晶（以下、「PDL C」という。）を材料とした液晶パネルを偏光選択性ホログラム光学素子として有している実施の形態について説明する。

【0088】初めに、図1に示すように、「PDL C」を成った偏光選択性ホログラム光学素子について、構造及び製造プロセスについて説明する。なお、製造プロセス中は、素子の温度を60℃程度に保っておくことが重要である。

【0089】まず、光重合を起こす前の高分子（以下、プレポリマーという。）TN液晶、開始剤、色素などが混合された「PDL C」をガラス基板1、2間に挟み込む。このとき、TN液晶の重合割合は、全体の30％程度とする。また、この「PDL C」の層厚（以下、セルギャップという。）は、2μm乃至15μmの範囲で、偏光選択性ホログラム光学素子の仕様にあわせて最適値を選ぶ。

【0090】次に、「PDL C」パネル3に干渉縞を記録するために、図示しないレーザ光源からの物体光4及び参照光5を「PDL C」パネル3に照射し、干渉による光の強弱Bを発生させる。このとき、干渉縞の明いところ、すなわち、光子のエネルギーが大きい場所では、そのエネルギーにより、「PDL C」中のプレポリマーが光重合を起こしポリマー化する。このため、プレポリマーが周辺部から次々に供給され、結果的にポリマー化したプレポリマーが密な領域と疎な領域とに分かれる。プレポリマーが疎な領域では、TN液晶の濃度が高くなり、こうして、高分子領域6と液晶領域7の2つの領域が形成される。

【0091】本実施の形態の場合、物体光4と参照光5とが「PDL C」パネル3に対して同じ面側から照射されているため、これによって製造される偏光選択性ホログラム光学素子は透過型となるが、物体光4と参照光5とを「PDL C」パネル3に対して互いに異なる面側から照射すれば、反射型の偏光選択性ホログラム光学素子を製造することができる。

【0092】ところで、前述のようにして製造された

「PDL C」パネル3の高分子領域6は、屈折率に関して等方的で（屈折率等方性を有し）、その値は、例えば、1.5となされている。一方、「PDL C」パネル3の液晶領域7においては、TN液晶分子が、長軸を高分子領域6との境界面に対して略々垂直にして並んでいる。このため、液晶領域7は、屈折率異方性を有し、屈折率が入射光方位依存性を有しており、この場合、常光線となるのは、「PDL C」パネル3の光線入射面8に入射する再生光5を考えた場合、S偏光成分である。

【0093】そして、この液晶領域7の常光線屈折率 $n_{lo}$ を高分子領域6の屈折率 $n_p$ に略々等しく（例えば、屈折率差が0.01未満と）すれば、入射S偏光成分に対する屈折率の差は極めて小さく、回折現象はほとんど生じない。一般に、TN液晶の常光線屈折率 $n_{lo}$ と異常光線屈折率 $n_{le}$ との差 $\Delta n$ は、0.1乃至0.2程度であるため、入射方向が等しい再生光5の場合でも、そのP偏光成分については、高分子領域6と液晶領域7との間に屈折率差が生じていることとなり、この「PDL C」パネル3は、位相変調型ホログラムとして機能し回折効果を示す。

【0094】これが、「PDL C」パネルを用いた偏光選択性ホログラム光学素子（以下、「H-PDL C」パネルという）の動作原理である。

【0095】本実施の形態におけるホログラム光学素子は、「coupled-wave theory」により導かれる偏光依存性を利用したものであり、本質的に偏光選択性ホログラム光学素子ではない。そのため、実効的には、S偏光回折効率とP偏光回折効率との差は30％乃至50％程度と考えられる。例えば、S偏光回折効率が70％、P偏光回折効率が30％と仮定すると、光利用効率は、表面反射や吸収による損失を無視した場合でも、49％（＝70％×70％）となる。参考に、入射角42°、干渉縞傾角120°の透過型ホログラムの場合の回折効率の偏光依存性を示したものを図30に示す（参考論文：

「M. G. Moharam and T. K. Gaylord: Rigorous coupled-wave analysis of planar grating diffraction, J. Opt. Soc. Am. 71, 811-818 (1977)」）。これより、+1次のS偏光回折効率とP偏光回折効率との差（図30中のH（P偏光に相当）とE（S偏光に相当）との差）は、 $d/\Lambda$ （ $d$ ：ホログラムの厚さ、 $\Lambda$ ：干渉縞のピッチ）が5.0のときで、約20％となっている。

【0096】〔2〕画像表示素子の実施の形態（第1乃至第3の実施の形態）

次に、前述の「H-PDL C」パネルを用いた本発明に係る反射型画像表示素子の第1の実施の形態について、図2を参照して説明する。この画像表示装置においては、図1で説明した「H-PDL C」パネル3に、反射型空間光変調素子となる反射型FLC液晶パネル10が、界面11において光学的に密着されて配設されている。



(48)

特開2002-23107

【0097】本発明に係る画像表示素子において、空間光変調素子は、この空間光変調素子において反射される光を変調する反射型空間光変調素子であって、入射光の偏光状態を変調する偏光変調型空間光変調素子であり、例えば、入射直線偏光の偏光方向を回転して反射するのである。

【0098】反射型F L C液晶パネル10の構造、動作原理は、図23において上述した内容と同一である。本実施の形態の「H-P D L C」パネル3は、図2に示すように、入射角 $\theta^*$ の物体光4と、入射角 $\theta_{in-air}$ の参照光5によって製造されている。このときの干渉縞の傾き角 $\theta_{int}$ を求める。

【0099】いま、仮定としてガラス基板1の屈折率を $n_{gl}$ 、「P D L C」の平均屈折率も簡単のために同じく $n_{gl}$ とすると、下式が成立する。

$$\begin{aligned} \text{【0100】} \\ n_{gl} \sin(\theta_{in-med}) &= \sin(\theta_{in-air}) \\ (\because \theta_{in-med} : \text{媒質中での入射角}) \end{aligned}$$

この式において、 $n_{gl}=1.5$ 、 $\theta_{in-air}=60^\circ$ とすると、 $\theta_{in-med}=35.3^\circ$ となる。これより、干渉縞の傾き角 $\theta_{int}$ は、

$$\begin{aligned} \theta_{int} &= \theta_{in-med} / 2 = 17.7^\circ \\ &\text{となる。} \end{aligned}$$

【0101】次に、この画像表示装置の動作原理を説明する。まず、P偏光成分とS偏光成分両方を含む再生光5が入射角 $\theta_{in-air}$ で「H-P D L C」パネル3のガラス基板1より入射する。ガラス基板1で屈折された入射光は、続いてホログラム層9に、入射角 $\theta_{in-med}$ にて入射する。

【0102】このとき、この構成のホログラム層9においては、前述したように、P偏光成分は、回折されて、反射型F L C液晶パネル10に対して略々垂直に入射光51として入射する。そして、このP偏光成分は、アルミ反射面14で反射され、F L C層13を往復することにより変調され、ホログラム層9に再入射する。このとき、P偏光成分は、ホログラム層9において再び回折されて射出光53として再生光5の逆方向に戻り、S偏光成分は、ホログラム層9にて回折されることなく、射出光52として「H-P D L C」パネル3から垂直に射出する。

【0103】一方、再生光5のS偏光成分は、「H-P D L C」パネル3のホログラム層9にて回折されることなく、そのまま $\theta_{in-med}$ の入射角にて反射型F L C液晶パネル10に入射する。このとき、S偏光成分は、反射型F L C液晶パネル10のF L C層13を通過することにより偏光状態の変調を受けるが、アルミ反射面14で反射された反射光54は、ホログラム層9が厚いホログラムであるため回折条件に合致せず、S偏光成分はもちろんP偏光成分もほとんど回折されることなく「H-P D L C」パネル3を透過していく。たとえF L C層13

での変調により生じたP偏光成分の一部がホログラム層9で回折されたとしても、反射光54の射出方向を射出光52との射出方向に対して十分に異なった方向としておくか、または、射出光52の光路中に射出光52が主に有する偏光成分を選択的に透過させる偏光板を設置することにより、これら反射光54と射出光52とを分離することができる。

【0104】すなわち、本発明に係る画像表示装置においては、偏光選択性ホログラム光学素子は、照明光学系により、照明光受光面の法線に対して $30^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満の入射角で照明光が入射され、照明光のP偏光成分もしくはS偏光成分を回折させて反射型空間光変調素子に向けて出射するとともに、この反射型空間光変調素子により位相変調されて再入射する照明光のうち、1回目の入射において回折される偏光成分の偏光方向に直交する偏光方向である偏光成分に対する回折効率が10%以下であることにより、この偏光成分を70%以上透過させるものである。

【0105】ここで、「厚いホログラム」について説明する。「厚いホログラム」の定義は、次に示すQ値が1.0以上であることとする（参考図書：辻内順平著「ホログラフイー」（裳言房））。Q値は、以下の式により定義される。

$$\text{【0106】} Q = 2\pi\lambda t / (n\Lambda^2)$$

( $\lambda$ : 再生波長)  
( $t$ : ホログラム層の厚さ)  
( $n$ : ホログラム層の平均屈折率)  
( $\Lambda$ : 干渉縞のピッチ)

そして、干渉縞のピッチ $\Lambda$ は、以下のようにして決まる。

$$\begin{aligned} \text{【0107】} \\ \Lambda = \lambda c / \{ 2 \sin \{ (\theta_s - \theta_r) / 2 \} \} \end{aligned}$$

( $\lambda c$ : 製造波長)  
( $\theta_s$ : 物体光の入射角)  
( $\theta_r$ : 参照光の入射角)

仮に、 $\lambda c = 0.55 \mu\text{m}$ 、 $\theta_s = 60^\circ$ 、 $\theta_r = 0^\circ$ 、 $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ 、 $t = 5 \mu\text{m}$ 、 $n = 1.5$ とすると、干渉縞のピッチ $\Lambda = 0.55 \mu\text{m}$ 、 $Q = 38.1$ となり、厚いホログラムの定義にあてはまる。

【0108】厚いホログラムは、回折効率が高いが、製造のときの使用波長、物体光、参照光の入射角などの構成から、再生光の条件がはずれると回折効率が急激に低下するという特徴をもつ。つまり、ある再生波長において、回折効率のピークを与える入射角から再生光の入射角が大きくなると、回折効果を現さないということになる。そのため、前述のように反射光54は、たとえP偏光成分であっても、ホログラム層9にて回折されにくくなる。

【0109】本発明における偏光選択性ホログラム光学素子は、高い回折効率を目的として干渉縞のピッチ $\Lambda$ を

(49)

特開2002-23107

小さくするために、ベンド角 $|\theta_s - \theta_r|$ を $30^\circ$ 以上に設定することを特徴としている。ただし、ベンド角が大きすぎる（例えば、 $80^\circ$ 以上である）と、回折効率は発生する波長帯域及び入射角度範囲が小さくなり、光利用率が低下してしまう。

【0110】実際の画像表示においては、図23にて上述したように、画素ごとに反射型FLC液晶パネル10のFLC層13が制御され反射光の偏光状態が変調されるため、主にS偏光成分を有する射出光52により画像表示が可能となる。

【0111】ここで、「H-PDLC」パネル3への再生光入射角 $\theta_{in-air}$ とホログラム層9への入射角 $\theta_{in-med}$ について考える。両者の関係は、上述したように、 $n_{qla} \cdot \sin(\theta_{in-med}) = \sin(\theta_{in-air})$ となっている。ここで、両者の変化率を見てみると、例えば、 $n_{qla} = 1.5$ として、 $\theta_{in-air}$ が $55^\circ$ から $65^\circ$ まで $10^\circ$ 変化するとき、 $\theta_{in-med}$ は、 $33.1^\circ$ から $37.2^\circ$ と $4.1^\circ$ の変化にとどまる。 $\theta_{in-air}$ が $65^\circ$ から $75^\circ$ まで $10^\circ$ 変わる場合には、 $\theta_{in-med}$ は、 $37.2^\circ$ から $40.1^\circ$ と $2.9^\circ$ の変化となる。これは、 $\sin$ 関数の変化率の大きいところを、ある倍率（この場合、 $n_{qla}$ の逆数）をかけることにより変化率の小さいところに移動することになる。そして、このことは、前述のように、「H-PDLC」パネル3の回折効率の再生光入射角依存性による均一性の劣化及び回折効率の低下を低減することができることを意味している。

【0112】また、この $\theta_{in-med}$ の $\theta_{in-air}$ に対する変化率は、 $n_{qla}$ が大きい程小さくできる。例えば、 $n_{qla} = 1.73$ の場合、 $\theta_{in-air}$ が $55^\circ$ から $65^\circ$ まで変化するとき、 $\theta_{in-med}$ は、 $28.3^\circ$ から $31.6^\circ$ と $3.3^\circ$ の変化にとどまる。ただし、「H-PDLC」パネル3への再生光入射角 $\theta_{in-air}$ が、あまりに大きく（例えば、 $75^\circ$ 以上）になると、上述の図33のように、S偏光のみならず、P偏光の表面反射率も大きくなっていき、これを反射防止膜などで小さく抑えることが難しくなってくる。

【0113】そこで、「H-PDLC」パネル3への再生光入射角 $\theta_{in-air}$ が $75^\circ$ を超えるような場合には、図3（第2の実施の形態）に示すように、カップリングプリズム20を用いることが有効となる。ただし、この場合には、「H-PDLC」パネル3への再生光入射角 $\theta_{in-air}$ と、ホログラム層9への再生光入射角 $\theta_{in-med}$ とが等しくなり、ホログラム層9自体が比較的に広い許容入射角度範囲を持たない場合には、光利用率が低下してしまう。

【0114】本発明に係る反射型画像表示素子は、このカップリングプリズム20を用いると仮定した場合に、回折光を略々垂直に反射型空間光変調素子に入射させるときに、ベンド角が $30^\circ$ 以上となる偏光選択性ホログラム

光学素子への入射角、すなわち、 $30^\circ$ を最低入射角として規定している。

【0115】高帯域の再生光に対して高い回折効率を維持するためには、図4（第3の実施の形態）に示すように、複数の偏光選択性ホログラム光学素子3R、3G、3Bを積層し、反射型空間光変調素子10を照明する照明光の波長帯域を複数に分け、それぞれの帯域を1つの偏光選択性ホログラム光学素子で回折させるようにする。

【0116】本実施の形態の場合には、3層構造となっているが、これ以上でも、または、2層構造でもよい。また、入射角度範囲の大きい再生光に対して高い回折効率を維持するためには、入射角度の受容範囲の異なる複数の偏光選択性ホログラム光学素子を積層し、それぞれの入射角度範囲を1つの偏光選択性ホログラム光学素子により主に回折させるようにすればよい。

【0117】〔3〕投射型画像表示装置に関する実施の形態（第4の実施の形態）  
上述したような偏光選択性ホログラム光学素子及び反射型空間光変調素子を備えた投射型画像表示装置についての実施の形態について説明する。

【0118】本発明の第4の実施の形態として、図5に示すように、反射型空間光変調素子として反射型FLCパネルを用いて、カラー投射型画像表示装置を構成することができる。この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を $90^\circ$ 回転させることによりP偏光光に変換して、光利用率を向上させている。照明光学系21を通過した照明光は、カラーホイール22を通過し、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射する。カラーホイール22は、照明光源20より放射される白色光を、赤色光、緑色光、青色光のスペクトル成分に時分割するもので、これにより、単板の反射型FLCパネル10を用いて、いわゆる「フィールドシーケンシャルカラー手法」により、カラー表示が可能となる。

【0119】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射した照明光は、ここで、P偏光成分のみが回折されて射出角約 $60^\circ$ で射出される。S偏光成分は、回折されことなく、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を直進して透過する。補正用偏光選択性ホログラム光学素子23において回折されるP偏光成分を主とする照明光は、続いて、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。

【0120】ここで、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3とは、同一

(50)

特開2002-23107

の構成のものを用いており、しかも互いに平行に配置されている。そのため、偏光選択性ホログラム光学素子3への照明光の入射角は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23からの照明光の射出角に等しい。

【0121】これは、以下のような2つの主要なメリットをもたらす。第1に、波長による回折角のばらつきを相殺できるという点であり、第2に、波長による回折効率の入射角度依存性の差異を補正するという点である。

【0122】第1のメリットについて説明する。ホログラムの干渉縞における入射角 $\theta_s$ と回折角 $\theta_r$ とは、次を示す等式により関係づけられる。

$$[\text{0123}] \quad (\sin \{\theta_s\} - \sin \{\theta_r\}) / \lambda = (\sin \{\theta_i\} - \sin \{\theta_c\}) / \lambda_c$$

( $\theta_s$ : ホログラム製造時の物体光入射角)

( $\theta_r$ : ホログラム製造時の参照光入射角)

( $\lambda$ : ホログラム製造波長)

( $\lambda_c$ : 再生波長)

すなわち、ある特定の干渉縞を有するホログラムの回折角は、入射光線の波長に依存することになる。そして、干渉縞ピッチ $\Lambda$ が小さいほどその変化率は大きい。なお、干渉縞ピッチ $\Lambda$ は、下記の式に示す関係を有する。

$$[\text{0124}] \quad \Lambda = \lambda / |\sin \{\theta_s\} - \sin \{\theta_r\}|$$

例えば、 $\theta_s = 0^\circ$ 、 $\theta_r = 60^\circ$ 、 $\lambda = 550 \text{ nm}$ 、 $\theta_c = 60^\circ$ とすると、 $\lambda_c$ が450 nmから650 nmまで変化すると、回折角 $\theta_i$ は、 $9^\circ$ から $-9^\circ$ まで変化する。これは、波長により反射型空間光変調素子への照明光入射角が異なることを意味する。

【0125】投射型画像表示装置のような実像結像系の場合、このような照明光入射角の変化による主要な問題の1つに、光利用率の低下があげられる。つまり、反射型空間光変調素子への照明光が拡散してしまい、投射光学系の集光率が低下してしまうという現象が起こる。また、虚像表示装置の場合には、観察者の瞳孔移動に伴い表示画像の色味が変化してしまうという問題につながる。

$$\sin \{\theta_{i-1}\} = -\lambda_c / \lambda \sin \{\theta_r\} \quad \dots \text{式(1)}$$

すなわち、再生波長 $\lambda_c$ が長いほど、 $\theta_{i-1}$ は大きくなる。いま、再生波長 $L$  (例えば赤色)、 $M$  (例えば緑色)、 $S$  (例えば青色)が、 $L > M > S$ の関係を満たすとき、それぞれの回折射出角 $\theta_{i-1L}$ 、 $\theta_{i-1M}$ 、 $\theta_{i-1S}$ は、以下の関係を満たす。

$$(\sin \{\theta_s\} - \sin \{\theta_r\}) / \lambda = (\sin \{\theta_{i-2}\} - \sin \{\theta_{i-1}\}) / \lambda_c \quad \dots \text{式(2)}$$

式(1)、式(2)より、 $\theta_{i-2} = \theta_s = 0^\circ$ となり、再生波長にかかわらず、反射型空間光変調素子10への照明光入射角を、常に $0^\circ$ とすることが可能となる。

【0131】次に、上述した第2のメリットについて説明する。図7、図8及び図9に、製造波長532 nm、物体光入射角 $0^\circ$ 、参照光入射角 $60^\circ$ 、平均回折率1.52、ホログラム厚5  $\mu\text{m}$ の、偏光選択性ホログラム光学素子の回折効率の入射角度依存性を示す。図7

＊る。これらの問題は、偏光選択性ホログラム光学素子3の回折許容スペクトル幅を小さくして、波長帯域別に複数の偏光選択性ホログラム光学素子3を用意することで抑制することが可能である。

【0126】ただし、照明光を波長帯域別に限りなく小さく分割することは現実的ではなく、したがって、完全に回折角の波長依存性をなくすことは難しい。そこで、2つの同等の性能を有する偏光選択性ホログラム光学素子3、23を用いてこれを補正することとしたものである。

【0127】偏光選択性ホログラム光学素子3により回折されて反射型空間光変調素子10に入射したS偏光の照明光は、この反射型空間光変調素子10により位相が変調され、再び偏光選択性ホログラム光学素子3を透過し、S偏光のみを選択的に透過する偏光板24を通して、投射光学系25に入射する。この投射光学系25により、反射型FLCパネル10上に表示される光学像がスクリーン26上に拡大投影される。

【0128】一方、P偏光成分のうち偏光選択性ホログラム光学素子3にて回折されない残りの往路の照明光は、そのまま偏光選択性ホログラム光学素子3を透過し、反射型空間光変調素子10のアルミ反射面14にて正反射され、再び図5中のCの方向に射出される。この照明光は、迷光となり、表示画像のコントラスト劣化を招く恐れがあるため、光吸収手段27にてそのエネルギーが吸収される。

【0129】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23による入射角の補正について、図6を参照して説明する。上述の式より、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23における回折光の射出角 $\theta_{i-1}$ は、下記の式で表される。

$$[\text{0130}] \quad \sin \{\theta_{i-1}\} = \lambda_c / \lambda (\sin \{\theta_s\} - \sin \{\theta_r\}) + \sin \{\theta_c\}$$

ここで、 $\theta_s = \theta_c = 0^\circ$ とすると、

$$\sin \{\theta_{i-1}\} = \lambda_c / \lambda \sin \{\theta_r\} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$\sin \{\theta_{i-1L}\} > \sin \{\theta_{i-1M}\} > \sin \{\theta_{i-1S}\}$$

次に、これを補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と平行に配置された偏光選択性ホログラム光学素子3に連射すると、入射角は、 $\theta_{i-1}$ となるためその射出角 $\theta_{i-2}$ は、下記の式を満たす。

は、再生波長が450 nm、図8は、再生波長が550 nm、図9は、再生波長が650 nmの場合である。

【0132】これらの回折効率の入射角度依存性と再生波長との関係より、回折効率のピークを与える入射角が波長によって異なり、長波長側は入射角度が大きい方が回折効率が高く、短波長側は入射角度が小さい方が回折効率が高くなっていることがわかる。そして、図6からもわかるように、補正用偏光選択性ホログラム光学素子

(51)

特開2002-23107

23を用いることにより、長波長側の照明光の偏光選択性ホログラム3への入射角は大きく、短波長側は小さくなっている。このことから、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を用いることにより、広い波長帯域において高い回折効率が得られ、高い光利用効率を維持することが可能となる。

【0133】以上のように、偏光選択性ホログラム光学素子3と補正用偏光選択性ホログラム光学素子23とを組み合わせることにより、広い波長帯域の照明光においても、高い効率で反射型空間光変調素子10を同一入射角にて照明することが可能となる。

【0134】ただし、本実施の形態においては、反射型空間光変調素子10に対する主光線の入射角を $0^\circ$ ではなく $\theta_{ob1}$ に設定している。これは前述のように、厚い透過型ホログラムの回折効率は、ベント角がある程度大きくないと高い屈折率が確保できないため、そのベント角を大きく設定するためである。そのため、この $\theta_{ob1}$ は、入射面内で偏光選択性ホログラム素子3のベント角を大きくする方向に設定される。このとき、この $\theta_{ob1}$ を大きくとりすぎると、反射型空間光変調素子10のコントラストの劣化、投射光学系25の大型化、表示画像の収差の増大などの問題が発生するため、通常は $30^\circ$ 以内にすることが望ましい。

【0135】ただし、投射光学系25を偏心光学系とし、反射型空間光変調素子10からの斜め射出光を有効に利用することにより、表示画像中心を投射光学系25の光軸からずらしながらも、投射光学系25の有効素を小さくすることも可能である。

【0136】また、反対に、偏光選択性ホログラム光学素子の屈折率変調度が十分大きい場合（例えば、0.05以上）には、ベント角 $50^\circ$ 程度でも十分な回折効率が確保できるため、許容波長帯域、許容入射角度を広げるため、 $\theta_{ob1}$ をベント角を小さくする方向に設定する方が有利となる。この場合も、上述した理由から、 $\theta_{ob1}$ の絶対値はあまり大きくすることはできず、 $10^\circ$ 程度が望ましい。

【0137】ベント角大（ $\theta_{ob1}=10^\circ$ ）の場合と、ベント角小（ $\theta_{ob1}=-10^\circ$ ）の場合について、回折効率の再生波長及び入射角依存性を、図10及び図11に示す。これら図10及び図11より、ベント角小（ $\theta_{ob1}=-10^\circ$ ）の場合、再生波長及び入射角度による回折効率劣化が低減されていることがわかる。

【0138】〔4〕画像表示装置の第5の実施の形態 本発明の第5の実施の形態として、反射型TN液晶パネルを用いたカラー投射型画像表示装置について、図12を参照して説明する。

【0139】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変

換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、S偏光成分の照明光の偏光方位を $90^\circ$ 回転させることによりP偏光光に変換し、光利用効率を向上させている。

【0140】照明光学系21を通過した照明光は、P偏光光を選択的に透過させる偏光板28を通過し、青色用、緑色用、赤色用ダイクロイックミラー29、30、31へ入射する。これらダイクロイックミラー29、30、31は、それらの反射面と照明光の進行方向とのなす角 $\theta_b$ 、 $\theta_g$ 、 $\theta_r$ が、 $\theta_b < \theta_g < \theta_r$ という関係を有して配置されている。これにより、これらダイクロイックミラー29、30、31は、前述の第4の実施の形態において図5により示した補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と同様の役割を果たす。

【0141】つまり、偏光選択性ホログラム光学素子3への赤色光の入射角度が最も大きく、以下、緑色光、青色光の順となる。偏光選択性ホログラム光学素子3に入射した各色光は、それぞれ各色光用に設けられた3層のホログラム層9r、9g、9bにより、反射型空間光変調素子の対応する色のアルミ画素電極14r、14g、14bに集光される。TN液晶層13を往復した照明光は、位相変調され、そのS偏光成分は偏光選択性ホログラム光学素子3にて回折されることなく透過し、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板24を経て、投射光学系25に入射する。投射光学系25に入射した画像光束は、スクリーン26上に投射される。

【0142】〔5〕画像表示装置の第6の実施の形態 本発明の第6の実施の形態として、図13に示すように、反射型空間光変調素子として3つの反射型反強誘電性液晶パネル10r、10g、10bを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0143】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を $90^\circ$ 回転することによりP偏光光に変換し、光利用効率を向上させる。

【0144】照明光学系21を通過した照明光は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射し、ここで、P偏光成分のみが回折され射出角約 $60^\circ$ で射出される。S偏光光は、回折されることなく補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を直進して透過する。

【0145】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23にて回折されたP偏光成分である照明光は、このP偏光成分を選択的に透過させる偏光板28を透過し、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。このとき、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホロ

(52)

特開2002-23107

グラム光学素子3とは、同一の構造のものを用いており、しかも互いに平行に配置されているため、この偏光選択性ホログラム光学素子3への照明光の入射角は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23からの照明光の射出角に等しくなっている。

【0146】偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する主にP偏光成分からなる照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3より略々垂直に射出する方向に回折され、クロスダイクロイックプリズム32に入射し、このクロスダイクロイックプリズム32により、赤色光、緑色光、青色光にそれぞれ分光される。

【0147】分光された各色光は、対応する反射型空間光変調素子10r、10g、10bに入射し、ここで各色光ごとに、また、画素ごとに変調されて反射される。変調された各色光は、再びクロスダイクロイックプリズム32に入射し、再合成された後、再び偏光選択性ホログラム光学素子3へ入射する。このとき、S偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3において回折されずに透過し、さらに、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板24を透過して、投射光学系25に入射する。そして、この投射光学系25により、スクリーン26上に表示画像が結像される。

【0148】〔6〕画像表示装置の第7の実施の形態本発明の第7の実施の形態として、図14に示すように、反射型空間光変調素子として2つの反射型FLCパネルを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0149】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を90°回転することによりP偏光光に変換し光利用効率を向上させる。

【0150】照明光学系21を通過した照明光は、このP偏光成分を選択的に透過する偏光板28を透過した後、カラーシャッタ22に入射する。このカラーシャッタ22は、照明光源20より放射され直線偏光となされた白色光のうちの特定の波長帯域の偏光方位を90°回転させる機能を有している。したがって、カラーシャッタ22を透過した照明光を偏光検波することにより、部分スペクトル成分に時分割することができる。このような時分割により、単板の反射型FLCパネル10によって「フィールドシーケンシャルカラー手法」によりカラー表示が可能となる（参考論文：「Gray D. Sharp and Kristina M. Johnson, High Brightness Saturated Color Shutter Technology, SID Symposium, Vol. 27, p411(1996)」）。

【0151】本実施の形態においては、このカラーシャ

ッタ22を、赤色光及び青色光（マゼンタ）、赤色光及び緑色光（黄色）の2つのスペクトルを時分割で透過させるように制御する。すなわち、照明光源20より入射する緑色光と青色光の偏光方向を交互に90°回転させる。カラーシャッタ22を透過した照明光は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射し、ここで、P偏光成分のみが回折されて射出角約60°で射出される。このとき、先程のカラーシャッタ22にてS偏光光となされた緑色光、または、青色光は、回折されることなく交互に補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を直進して透過する。

【0152】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23において回折された主にP偏光成分からなる照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。このとき、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3とは、同一の構造を有しており、しかも互いに平行に配置されているため、偏光選択性ホログラム光学素子3への照明光の入射角は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23からの照明光の射出角に等しくなっている。

【0153】偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する照明光のP偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3より略々垂直に射出するように回折されて、ダイクロイックプリズム34に入射する。ダイクロイックプリズム34に入射した照明光は、赤色光のみが進行方向を90°偏向され、残りの、主に緑色光、青色光の波長帯域の照明光は透過する。分光された2つの色光は、対応する反射型空間光変調素子10r、10gbに入射し、これら反射型空間光変調素子10r、10gbにおいて、各色光ごとに、また、画素ごとに変調されて反射される。

【0154】ただし、緑色光、青色光については、「フィールドシーケンシャルカラー手法」により、時分割で表示される。緑色光、青色光について時分割表示とし、赤色光について時分割表示としないのは、通常のランプ光源を用いた場合には、眼の視感度を考慮して白バランスをとると、赤色光が最も出力が不足するためである。

【0155】変調された各色光は、再びダイクロイックプリズム34に入射して再合成され、再度偏光選択性ホログラム光学素子3へ入射する。このとき、S偏光成分は回折されずに透過し、さらに、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板24を経て投射光学系25に入射する。そして、この投射光学系25により、スクリーン26上に表示画像が結像される。

【0156】また、図15に示すように、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3との間を硝子プレート20によって充填し、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23及び偏光選択性ホログラム光学素子3のホログラム層の裏面的ベンド角を大きくすることにより、回折効率を向上させることが

(53)

特開2002-23107

できる。

【0157】ただし、このとき、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23及び偏光選択性ホログラム光学素子3において回折効率が生ずる波長帯域、入射角度範囲は減少する。なお、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と硝子プレート20との間、及び、偏光選択性ホログラム光学素子3と硝子プレート20との間は、それぞれ光学的に密着させる必要がある。

【0158】〔7〕画像表示装置の第8の実施の形態  
本発明の第8の実施の形態として、図16に示すように、反射型空間光変調素子として3つの反射型TN垂直配向液晶パネル10r、10g、10bを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0159】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を90°回転することによりP偏光光に変換し光利用効率を向上させる。

【0160】照明光学系21を通過した照明光は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射し、ここで、P偏光成分のみが回折及び反射され、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。照明光のS偏光成分は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23において回折されることなく、直進してこの補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を透過する。

【0161】ここで、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23は、反射型偏光選択性ホログラム光学素子となっている。反射型の場合、透過型に比べて回折波長帯域の許容値が小さいため、照明光源20にはなるべくスペクトルに急峻なピーク値をもつものを用いるか、または、ホログラムを複数の波長帯域ごとに作成し、これを積層して補正用偏光選択性ホログラム光学素子23とすることが効果的である。

【0162】偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する主にP偏光成分からなる照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3より略々垂直に射出するよう回折され、ダイクロイックプリズムブロック35に入射する。このダイクロイックプリズムブロック35は、3つのダイクロイックプリズムからなり、2つの境界面35b、35cを有している。ダイクロイックプリズムブロック35に入射した照明光は、まず、一方の境界面35bに入射し、青色光のみを反射され、この境界面35bを透過した青色を除く光が、他方の境界面35cに入射する。そして、他方の境界面35cにおいて緑色光のみが反射されることにより、照明光は、R（赤色）、G（緑色）、B（青色）の各色に分光される。

【0163】このように分光された各色光は、対応する

反射型空間光変調素子10r、10g、10bに入射し、これら反射型空間光変調素子10r、10g、10bにより、各色光ごとに、また、画素ごとに変調されて反射される。変調された各色光は、再びクロスダイクロイックプリズムブロック35に入射し再合成され、再度偏光選択性ホログラム光学素子3へ入射する。このとき、S偏光成分は回折されずに透過し、さらに、S偏光成分を選択的に透過する偏光板24を経て投射光学系25に入射する。そして、この投射光学系25により、スクリーン26上に表示画像が結像される。

【0164】〔8〕画像表示装置の第9の実施の形態  
本発明の第9の実施の形態として、図17に示すように、反射型空間光変調素子として2つの反射型FLCパネルを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0165】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がS偏光光となるように、照明光のP偏光成分の偏光方位を90°回転することによりS偏光光に変換し光利用効率を向上させる。

【0166】照明光学系21を通過した照明光は、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板28を透過し、カラーシャッタ22に入射する。カラーシャッタ22は、照明光源20より放射される白色光を、その部分スペクトル成分に時分割するもので、これにより単板の反射型FLCパネル10で「フィールドシーケンシャルカラー手法」によりカラー表示が可能となる（参考論文：「Gray D. Sharp and Kristina M. Johnson, High Brightness Saturated Color Shutter Technology, SID Symposium, Vol. 27, p411(1996)」）。

【0167】本実施の形態においては、このカラーシャッタ22を、赤色光及び青色光（マゼンタ）と、赤色光及び緑色光（黄色）との2つのスペクトルを時分割で透過させるよう制御する。つまり、入射する緑色光成分と青色光成分の偏光方向を交互に90°回転させてP偏光光とする。カラーシャッタ22を射出した照明光は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射し、ここで、S偏光成分のみが回折され射出角約70°で射出される。このとき、先程のカラーシャッタ22にてP偏光光となされた緑色光、または、青色光は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23において回折されることなく直進し、交互に補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を透過する。

【0168】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23にて回折された主にS偏光成分からなる照明光は、この補正用偏光選択性ホログラム光学素子23に光学的に密着接合された第1のカップリングプリズム37に入射す

(54)

特開2002-23107

る。補正用偏光選択性ホログラム光学素子23から射出した照明光は、第1のカップリングプリズム37と補正用偏光選択性ホログラム光学素子23のガラス基板36とが略々等しい屈折率を有するガラス材にて作製されているため、これらの接合界面で屈折を生じず、角度を変えずに第1のカップリングプリズム37に入射する。

【0169】第1のカップリングプリズム37に入射した照明光は、この第1のカップリングプリズム37の光学面38より略々垂直に射出する。そして、この照明光は、カラーセレクト33に入射する。このカラーセレクト33は、入射直線偏光方位をその波長帯域に応じて90°回転させるものである（参考論文：「Gray D. Sharp and J. R. Birge, Retarder Stack Technology for Color Manipulation, SID Symposium, Vol. 30, p1072(1999)」）。

【0170】本実施の形態においては、赤色光は、入射偏光方位（S偏光）が保存され、青色光及び緑色光の偏光方位は、90°回転されてP偏光となされる。カラーセレクト33を射出した照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3に光学的に密着接合された第2のカップリングプリズム20に光学面39より入射する。この光学面39は、第1のカップリングプリズム37の光学面38と略平行になされている。したがって、入射照明光は、第2のカップリングプリズム20の光学面39においてはほとんど屈折することなく直進し、そのまま偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。

【0171】この偏光選択性ホログラム光学素子3において、S偏光である赤色光は、回折されることなく第3のカップリングプリズム40を透過し、赤色光用反射型空間光変調素子10rに入射する。一方、P偏光である青色光及び緑色光は、回折されて約70°進行方向を偏向されて第3のカップリングプリズム40を通して青緑色光用反射型空間光変調素子10gbに入射する。

【0172】このとき、青色光及び緑色光は、カラーシャッタ22により時分割で交互に送られてくるため、青緑色光用反射型空間光変調素子10gbはこれに同期して制御される。緑色光、青色光について時分割表示とし、赤色光について時分割表示としないのは、通常のランプ光源を用いた場合には、眼の視感度を考慮して白バランスをとると、赤色光が最も出力が不足するためである。

【0173】それぞれの反射型空間光変調素子10b、10gbにて変調された照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3に再入射する。このとき、青緑色光用反射型空間光変調素子10gbからの反射光のうちのS偏光成分は、回折されることなく偏光選択性ホログラム光学素子3より略垂直に射出する。また、赤色光用反射型空間光変調素子10rからの反射光のうちのP偏光成分は、回折されて偏光選択性ホログラム光学素子3より同

じく略垂直に射出する。

【0174】これら2つの反射光は、第2のカップリングプリズム20を透過し、この第2のカップリングプリズム20の光学面に接合されたカラーセレクト33bに入射する。このカラーセレクト33bにおいて、青緑色光は、入射偏光方位（S偏光）が保存され、赤色光の偏光方位は、90°回転されS偏光となされる。

【0175】これらの照明光は、S偏光光を選択的に透過させる偏光板24を経て、投射光学系25に入射する。そして、投射光学系25により、スクリーン26上に表示画像が結像される。

【0176】一方、青緑色光用反射型空間光変調素子10gbからの反射光のうちのP偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3において回折されて透過し、往路の照明光路を逆行する。また、赤色光用反射型空間光変調素子10rからの反射光のうちのS偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3にて回折されることなく同じく往路の照明光路を逆行する。

【0177】また、本実施の形態は、図18に示すように、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23、第1のカップリングプリズム37、カラーセレクト33、第2のカップリングプリズム20、偏光選択性ホログラム光学素子3、第3のカップリングプリズム40及びカラーセレクト33bを光学的に接合させて構成してもよい。

【0178】〔9〕画像表示装置の第10の実施の形態本発明の第10の実施の形態として、図19に示すように、反射型空間光変調素子として反射型FLCパネルを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0179】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を90°回転することによりP偏光に変換し光利用効率を向上させる。

【0180】照明光学系21を通過した照明光は、カラーホイール22を通過し、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射する。カラーホイール22は、照明光源20より放射される白色光を、赤色光、緑色光、青色光のスペクトル成分に時分割するもので、この時分割により、単板の反射型FLCパネル10で「フィールドシーケンシャルカラー手法」によりカラー表示が可能となる。

【0181】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射角60°で入射した照明光は、ここで、P偏光成分のみが回折され、射出角約0°で射出される。S偏光成分は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23で回折されることなく、直進して補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を透過する。

(55)

特開2002-23107

【0182】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23で回折された主にP偏光成分からなる照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3とは、同一の構造のものであり、かつ、これら補正用偏光選択性ホログラム光学素子23及び偏光選択性ホログラム光学素子3に対する照明光の入射角が略々同一になるように配置されている。ただし、照明光（入射側）からみた場合、両者の回折方向（ベンド角）は逆方向となっている。このような配置により、前述のように、波長による回折角のばらつきを相殺できること、波長による回折効率の入射角度依存性の差異を補正できることという2つのメリットが得られる。

【0183】なお、この補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3との間は、図19において波線で示すように、カップリングブリズム20にて充填してもよい。ただし、この場合には、ベンド角が異なるため、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3とは、同一のホログラム素子であってはならない。

【0184】ここで、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23への入射角を偏光選択性ホログラム光学素子3への入射角と同様に約60°とするのは、第1の実施の形態において説明したように、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23の回折効率の入射角度依存性を低減させるためである。

【0185】偏光選択性ホログラム光学素子3により回折されたP偏光は、この偏光選択性ホログラム光学素子3より射出角 $\theta'$ で射出し、反射型空間光変調素子10に入射する。反射型空間光変調素子10は、図19中矢印aで示す長手方向が照明光入射角方向と一致するように配置される。これは、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23への回折方向の入射照明光の有効幅を小さくする必要があるためで、この有効幅の減少量とできるだけ少なくして光利用効率を高くするためである。

【0186】また、同様の理由から、照明光源20の発光部20aの長手方向は、図19において紙面に垂直な方向となされている。これは、前述のラグランジュヘルムホルツの不変量より、発光部が小さい方が光束径を絞ったときに収束角が大きくなりやすいため、本発明に係る画像表示装置のように、照明光を空間光変調素子に対して斜めに入射させる場合には、その入射方向に一致する方向に発光部の長さを短くすることが光利用効率を上げるために有効となるためである。

【0187】反射型空間光変調素子10により位相が変調されて反射されたS偏光は、偏光選択性ホログラム光学素子3を透過し、S偏光のみを選択的に透過する偏光板24を透過して投射光学系25に入射する。この投射光学系25により、反射型FLCパネル10上に表示される光学像がスクリーン26上に表示画像として拡

大投影される。

【0188】一方、P偏光成分のうち偏光選択性ホログラム光学素子3にて回折されない経路の残りの照明光は、そのまま偏光選択性ホログラム光学素子3を透過し、反射型空間光変調素子10のアルミ反射面14にて正反射され、再び図19中のCの方向に射出される。この照明光は、透光となり、表示画像のコントラスト劣化を招く恐れがあるため、光吸収手段27によりそのエネルギーを吸収される。

【0189】〔10〕画像表示装置の第11の実施の形態

本発明の第11の実施の形態として、図20に示すように、反射型空間光変調素子として反射型FLCパネルを用いたカラー投射型画像表示装置について説明する。

【0190】この画像表示装置においては、照明光源20より放射される照明光は、光束断面形状の補正、強度の均一化、発散角制御などの機能を有する照明光学系21に入射する。本照明光学系21は、図示しない偏光変換手段を有しており、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射光がP偏光となるように、照明光のS偏光成分の偏光方位を90°回転することによりP偏光光に変換し光利用効率を向上させる。

【0191】照明光学系21を通過した照明光は、カラーホイール22を通過し、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23へ入射する。カラーホイール22は、照明光源20より放射される白色光を、赤色光、緑色光、青色光のスペクトル成分に時分割するもので、この時分割により、単板の反射型FLCパネル10による「フィールドシーケンシャルカラー手法」によりカラー表示が可能となる。

【0192】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23に対し入射角 $\theta_{in23}$ で入射した照明光は、ここで、P偏光成分のみが回折され、射出角 $\theta_{out23}$ で射出される。S偏光成分は、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23によって回折されることなく、この補正用偏光選択性ホログラム光学素子23を透過して直進する。

【0193】補正用偏光選択性ホログラム光学素子23にて回折される主にP偏光成分からなる照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3に、入射角 $\theta_{in3}$ にて入射する。このとき、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23と偏光選択性ホログラム光学素子3とは、同一の構造を有し、しかも、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23への入射角 $\theta_{in23}$ 、射出角 $\theta_{out23}$ は、偏光選択性ホログラム光学素子3への入射角 $\theta_{in3}$ 、射出角 $\theta_{out3}$ とそれぞれ等しくなされている。ただし、照明光からみた場合、両者の回折方向（ベンド角）は逆方向となっている。これより、前述のように、波長による回折角のばらつきを相殺できること、波長による回折効率の入射角度依存性の差異を補正できることという2つのメリットが得られる。



(56)

特開2002-23107

【0194】また、本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3と反射型空間光変調素子10とは図20に示すように、 $\theta_{holo}$ の開き角を有して配置される。すなわち、偏光選択性ホログラム光学素子3、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23の回折効率の波長及び入射角依存性を低減させるためには、ベンド角を少なくすることが有効であるが、このとき、

(i) 入射角を小さくする。

(ii) 射出角をベンド角が小さくなる方向に大きくとる。

という2つの方法が考えられる。(i)の「入射角を小さくする」という手法の場合、前述のように、ホログラム層への入射角度のばらつきが大きくなり好ましくない。そこで、(ii)の「射出角をベンド角が小さくなる方向に大きくとる」という手法をもちいることが有効となる。

【0195】本実施の形態の場合、偏光選択性ホログラム光学素子3、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23からの射出角 $\theta_{out3}$ 、 $\theta_{out23}$ を5°乃至20°程度とし、ベンド角を低減させている。このように、入射照明光、偏光選択性ホログラム光学素子3及び補正用偏光選択性ホログラム光学素子23の相対関係を規定した場合において、偏光選択性ホログラム光学素子3からの射出回折光を反射型空間光変調素子10に対して垂直に入射させようとする、図20に示すように、偏光選択性ホログラム光学素子3と反射型空間光変調素子10とは、 $\theta_{holo}$  ( $=\theta_{out3}$ )の開き角をとって配置される必要がある。

【0196】このようにして、偏光選択性ホログラム光学素子3により回折されたP偏光光は、反射型空間光変調素子10に対して略々垂直に入射する。反射型空間光変調素子10は、図20中央印aで示す長手方向が、照明光入射角方向と一致するように配置されている。これは、補正用偏光選択性ホログラム光学素子23への回折方向の入射照明光の有効幅を小さくするためである。この有効幅の減少量をできるだけ少なくして光利用効率を高くするためである。

【0197】また、同様の理由から、照明光源20の発光部20aの長手方向は、図19において紙面に垂直な方向となされている。これは、前述のラグランジュヘルムホルツの不変量より、発光部が小さい方が光束径を絞ったときに拡散角が大きくなりくい。ため、本発明に係る画像表示装置のように、照明光を空間光変調素子に対して斜めに入射させる場合には、その入射方向に一致する方向に発光部の長さを短くすることが光利用効率を上げるために有効となるためである。

【0198】反射型空間光変調素子10により位相が変調されて反射されたS偏光光は、偏光選択性ホログラム光学素子3を透過し、S偏光光のみを選択的に透過する偏光板24を透過して投射光学系25に入射する。こ

で、偏光板24は、偏光選択性ホログラム光学素子3を透過したことにより発生する非点収差を補正するために、偏光選択性ホログラム光学素子3の反射型空間光変調素子10に対する傾き角 $\theta_{holo}$ と反対方向に同じ絶対値の傾き角 $\theta_{pol}$ をもって配置される。この偏光板24の傾きにより、変調された照明光における非点収差をキャンセルすることができる。そして、投射光学系25に入射した照明光により、反射型空間光変調素子10上に表示される光学像がスクリーン26上に表示画像として拡大投影される。

【0199】【11】虚像表示装置に関する実施の形態(第12の実施の形態)

本発明の第12の実施の形態として、図21に示すように、反射型空間光変調素子として反射型FLCパネルを用い虚像結像光学系を用いた画像表示装置について説明する。

【0200】この画像表示装置においては、赤色光、緑色光、青色光の3色を順次独立に発光するレンズ付き発光ダイオード光源41より放射される照明光は、P偏光成分を選択的に透過させる偏光板42を透過して、偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。この入射光は、偏光選択性ホログラム光学素子3において回折され、略々垂直に反射型FLCパネル10に入射する。

【0201】反射型FLCパネル10にて位相を変調された照明光は、反射型FLCパネル10のアルミ反射面14において反射され、再び偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。このとき、P偏光成分は、再び偏光選択性ホログラム光学素子3によって回折されて発光ダイオード光源41の方向に向かうが、S偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3によって回折されることなく、そのまま透過する。偏光選択性ホログラム光学素子3を透過したS偏光光は、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板43にて検波されたのち、虚像観察光学系を構成する自由曲面プリズム44に、自由曲面屈折面45より入射する。

【0202】自由曲面プリズム44内に入射した光は、第1の光学面46において全反射され、次いで、第2の自由曲面反射面47にて反射されたのち、第1の光学面46を透過して、観察者の観察領域48に導かれる。このとき、観察領域48を大きくするには、発光ダイオード光源41と偏光板42との間に拡散板を配置するか、または、偏光選択性ホログラム光学素子3において、この偏光選択性ホログラム光学素子3に入射するP偏光成分に対して回折時に拡散作用を起こす干渉縞を予め記録しておいてもよい。

【0203】次に、本発明の第13の実施の形態として、図22に示すように、反射型空間光変調素子として2つの反射型FLCパネルを用い虚像結像光学系を用いた画像表示装置について説明する。

【0204】この画像表示装置においては、赤色光、緑

(57)

特開2002-23107

色光、青色光の3色を順次独立に発光するレンズ付き発光ダイオード光源41より放射された照明光は、P偏光光となる偏光成分を選択的に透過する偏光板42を経て、偏光選択性ホログラム光学素子3へ入射する。本実施の形態においては、偏光選択性ホログラム光学素子3は反射型となっている。この偏光選択性ホログラム光学素子3に入射された照明光は、偏光選択性ホログラム光学素子3において回折され反射されて略々垂直に反射型FLCパネル10に入射する。

【0205】反射型FLCパネル10において位相を調整された照明光は、反射型FLCパネル10のアルミ反射面14において反射され、再び偏光選択性ホログラム光学素子3に入射する。このとき、照明光のP偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3において再び回折され反射されて発光ダイオード光源42の方向に向かう。S偏光成分は、偏光選択性ホログラム光学素子3により回折されることなく、そのまま偏光選択性ホログラム光学素子3を透過する。

【0206】このように偏光選択性ホログラム光学素子3を透過したS偏光光は、S偏光成分を選択的に透過させる偏光板43にて検波されたのち、虚像観察光学系を構成する自由曲面プリズム44に、自由曲面屈折面45より入射する。

【0207】自由曲面プリズム44内に入射した光は、第1の光学面46において全反射され、次いで、第2の自由曲面反射面47にて反射されたのち、第1の光学面46を透過して、観察者の観察領域48に導かれる。このとき、観察領域48を大きくするには、発光ダイオード光源41と偏光板42との間に拡散板を配置するか、または、偏光選択性ホログラム光学素子3において、この偏光選択性ホログラム光学素子3に入射するP偏光成分に対して回折時に拡散作用を起こす干渉縞を予め記録しておいてもよい。

【0208】

【発明の効果】上述のように、本発明に係る画像表示素子を用いた画像表示装置においては、反射型空間光変調素子の照明手段として、必ずしも偏光ビームスプリッタを使用する必要がないため、装置重量の軽量化、装置サイズの小型化、表示画像のコントラストの改善及び製造コストの低減化が可能となる。

【0209】また、この画像表示素子においては、従来のホログラムカラーフィルタと異なり、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有する偏光選択性ホログラム光学素子を用いることにより、P偏光光とS偏光光の回折効率の差を十分に大きくすることができ、光利用効率及び表示画像のコントラストの改善が可能である。

【0210】さらに、従来のホログラムカラーフィルタと異なり、屈折率の入射偏光方位依存性が互いに異なる2つの領域を順次積層した構造を有する偏光選択性ホ

ログラム光学素子を用いることにより、P偏光光の回折効率をS偏光光のそれに比べて高くすることができ、ホログラム光学素子に対してP偏光光を入射させることができる。これにより、カップリングプリズムを用いなくとも、ホログラム光学素子のガラス基板における表面反射を抑えることができ、光利用効率及び表示画像のコントラストの改善が可能である。

【0211】そして、この画像表示装置においては、2つの偏光選択性ホログラム光学素子を、反射型空間光変調素子の照明のために用いることにより、偏光選択性ホログラム光学素子における回折角の波長依存性を互いに相殺して均一照明が得られる他、各波長帯域ごとに、入射角による回折効率減少を補正して光利用効率を改善することができる。

【0212】さらに、この画像表示装置においては、偏光選択性ホログラム光学素子を反射型として使用することが可能となること、各色光ごとに用意される複数の反射型空間光変調素子を用いた画像表示装置に適応することができること、「フィールドシーケンシャルカラー方式」の画像表示装置として構成することができることなどの効果が得られる。

【0213】そして、この画像表示装置においては、反射型空間光変調素子と偏光選択性ホログラム光学素子との画素単位のアライメントが不要なために製造コストの低減化が可能であり、また、高い光利用効率が維持されながら、表示画像のコントラストが高く、しかも、薄型化、軽量化、虚像観察光学系を用いて構成することが可能である。

【0214】すなわち、本発明は、照明光の光利用効率が高く、装置の小型化、低コスト化が可能であり、また、表示画像の均一性、高コントラスト性が実現された画像表示素子及び画像表示装置を提供することができるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る画像表示素子の構成を示す縦断面図である。

【図2】本発明に係る画像表示装置の第1の実施の形態の構成を示す縦断面図である。

【図3】本発明に係る画像表示装置の第2の実施の形態の構成を示す縦断面図である。

【図4】本発明に係る画像表示装置の第3の実施の形態の構成を示す縦断面図である。

【図5】本発明に係る画像表示装置の第4の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図6】上記画像表示装置における補正用偏光選択性ホログラム光学素子による入射角の補正の原理を示す側面図である。

【図7】上記画像表示装置における再生波長450nmにおける回折効率の入射角度依存性を示すグラフである。

(58)

特開2002-23107

【図8】上記画像表示装置における再生波長550nmにおける回折効率の入射角度依存性を示すグラフである。

【図9】上記画像表示装置における再生波長650nmにおける回折効率の入射角度依存性を示すグラフである。

【図10】ベンド角大 ( $\theta_{ob1}=10^\circ$ ) の場合の回折効率の再生波長及び入射角依存性を示すグラフである。

【図11】ベンド角小( $\theta_{\text{ob1}} = -10^\circ$ )の場合の回折効率の再生波長及び入射角依存性を示すグラフである。

【図１２】本発明に係る画像表示装置の第５の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図13】本発明に係る画像表示装置の第6の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図 14】本発明に係る画像表示装置の第 7 の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図 15】本発明に係る画像表示装置の第 7 の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図 16】本発明に係る画像表示装置の第 8 の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図 17】本発明に係る画像表示装置の第 9 の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図 18】本発明に係る画像表示装置の第 9 の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図 19】本発明に係る画像表示装置の第 10 の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図 20】本発明に係る画像表示装置の第 11 の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図 21】本発明に係る画像表示装置の第 12 の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図 22】本発明に係る画像表示装置の第 13 の実施の形態の構成を示す側面図である。

【図23】従来の画像表示素子（FLC）の構成を示す断面図である。

【図24】反射型空間光変調素子に対応した偏光ビームスプリッターを用いた従来の画像表示装置の構成を示す側面図である。

【図25】ホログラムレンズを用いた従来の画像表示装置の構成を示す断面図である。

【図26】反射型ホログラムの回折効率を示すグラフである。

【図27】光スイッチとしてのホログラム光学素子の応用例を示す断面図である。

【図28】ホログラム光学素子の画像表示装置用反射板としての応用例を示す断面図である。

【図29】ホログラム光学素子の投射型画像表示装置用偏光変換器への応用例を示す断面図である。

【図30】ホログラムの厚さと回折効率との関係を示すグラフである。

【図31】厚さ6  $\mu\text{m}$  のホログラムにおける回折効率の入射角度依存性を示すグラフである。

【図32】厚さ18  $\mu\text{m}$ のホログラムにおける回折効率の入射角度依存性を示すグラフである。

【図33】ガラスの表面反射率と入射角度との関係を示すグラフである。

【図34】従来のホログラムカラーフィルタにおけるホログラムレンズからの主光線の射出角許容値を示す断面図である。

【図35】偏光ビームスプリッタを用いた従来の画像表示装置の構成を示す側面図である。

【図 36】虚像観察光学系を用いた従来の画像表示装置の構成を示す側面図である。

【図 37】虚像観察光学系を用いた従来の画像表示装置の構成の他の例を示す側面図である。

【符号の説明】

3 「H-PDLC」パネル（偏光選択性ホログラム光学素子）、10 反射型FLC液晶パネル、20 照明光源、25 投射光学系、44 自由曲面プリズム

【手続修正2】

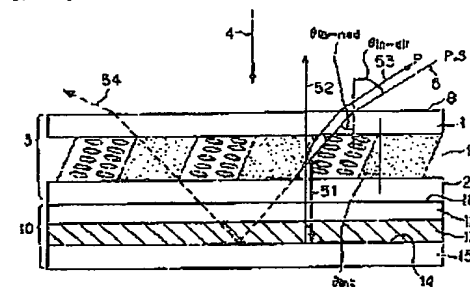
【補正対象言葉類名】図面

【補正対象項目名】図2

【補正方法】変更

【補正内容】

【图2】



【手続補正3】

【博正対象音類名】図面

【補正対象項目名】図 4

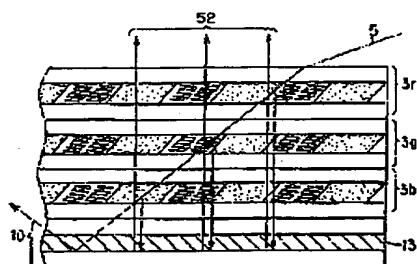
【補正方法】変更

【補正内容】

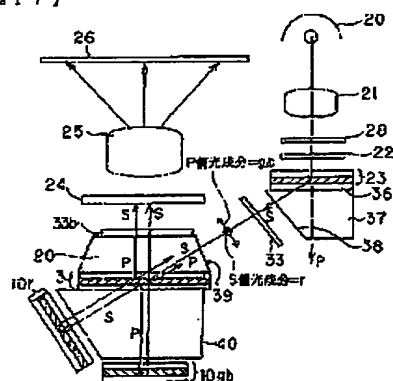
【圖4】

(59)

特開2002-23107

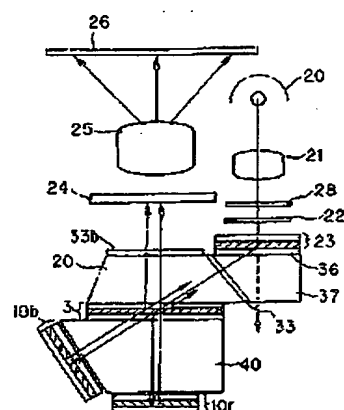


【手続補正4】  
 【補正対象書類名】図面  
 【補正対象項目名】図17  
 【補正方法】変更  
 【補正内容】  
 【図17】

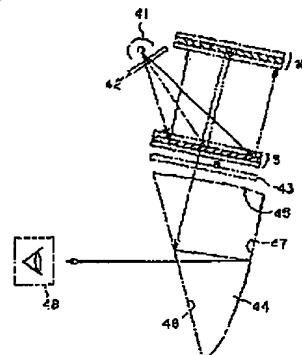


【手続補正5】  
 【補正対象書類名】図面  
 【補正対象項目名】図18  
 【補正方法】変更  
 【補正内容】  
 【図18】

\*



【手続補正6】  
 【補正対象書類名】図面  
 【補正対象項目名】図22  
 【補正方法】変更  
 【補正内容】  
 【図22】



\*

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup> 識別記号  
 G 0 2 F 1/1335  
 5 1 0  
 5 2 0  
 G 0 3 B 21/00  
 33/12  
 G 0 9 F 9/00 3 2 4  
 H 0 4 N 5/74

F I 5-77-D (参考)  
 G 0 2 F 1/1335 5 C 0 5 8  
 5 1 0 5 G 4 3 5  
 5 2 0  
 G 0 3 B 21/00 E  
 33/12  
 G 0 9 F 9/00 3 2 4  
 H 0 4 N 5/74 B

(60)

特開2002-23107

F ターム(参考) 2H048 BA01 BA64 BB02 BB08 BB42  
2H049 CA05 CA08 CA15 CA17 CA22  
2H088 EA12 EA47 EA48 GA02 HA11  
HA18 HA21 HA28 KA06 KA17  
MA02 MA16  
2H091 FA05Z FA07X FA14Y FA19X  
FB02 FD06 LA11 LA17 MA07  
2H099 AA11 AA12 BA09 CA17  
5C058 AA06 BA08 BA35  
5G435 AA02 AA18 BB12 BB17 DD14  
GG01 GG02 GG03 GG04 GG12  
GG14 GG28 LL15

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**